

CLARICE INÊS LORENZI

**METODOLOGIA INTEGRADA PARA MAPEAMENTO
DE FALHAS UTILIZANDO FMEA E RELATÓRIO A3 NO
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SOB ENCOMENDA:
UM CASO NO SETOR DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, da Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.
Coorientador: Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr. Eng.

**Florianópolis
2015**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lorenzi, Clarice Inês

Metodologia integrada para mapeamento de falhas utilizando FMEA e Relatório A3 no desenvolvimento de produtos sob encomenda : um caso no setor de automação industrial / Clarice Inês Lorenzi ; orientador, João Carlos Espindola Ferreira ; coorientador, Régis Kovacs Scalice. - Florianópolis, SC, 2015.

126 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Engenharia Mecânica. 3. Desenvolvimento de Produto. 4. Análise de falha. 5. FMEA combinado com método A3. I. Ferreira, João Carlos Espindola. II. Scalice, Régis Kovacs. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

Clarice Inês Lorenzi

**METODOLOGIA INTEGRADA PARA MAPEAMENTO
DE FALHAS UTILIZANDO FMEA E RELATÓRIO A3 NO
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SOB ENCOMENDA:
UM CASO NO SETOR DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Esta Dissertação foi julgada adequada e aprovada, em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 21 de agosto de 2015.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Orientador: João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Fernando Antonio Forcellini, Dr.Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Roberto Silvio Ubertino Rosso Jr., Ph.D.
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Ao meu esposo Roberto.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar todos os dias e me abençoar com mais esta conquista.

Ao meu esposo, Roberto, pelo companheirismo, compreensão, amor e incentivo.

Aos meus pais, Oneide e José, e aos meus irmãos, Altair e Sérgio, por todo o incentivo e carinho.

Ao meu orientador, professor João Carlos Espíndola Ferreira, por estar sempre disponível e auxiliar a encontrar a solução nos momentos de dificuldade.

Ao meu coorientador, professor Régis Kovacs Scalice, pela orientação e colaboração neste trabalho.

Aos amigos que dividiram momentos de êxito e dificuldades, em especial, Adriana, Josiane, Cláudio, Vando e Marcelo.

À Ana Paula Rodrigues pelo auxílio no desenvolvimento do *lay out* do relatório A3.

Aos colegas de trabalho que colaboraram neste estudo.

RESUMO

Uma das técnicas adotadas para garantir qualidade e confiabilidade de produtos ainda na fase de projeto é a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) que, com caráter preventivo, atua na mitigação dos modos de falha. Contudo, algumas limitações desta ferramenta restringem sua aplicação. Em detrimento destas limitações, este estudo propõe um método que integra a filosofia do método A3 e as práticas da FMEA em um documento padrão A3 para a análise de falhas e registro do conhecimento gerado. O estudo é aplicado em uma empresa de automação industrial cujo processo produtivo é caracterizado por *jobbing* e, visa contribuir na melhoria do processo de análise de falhas e solução de falhas. Esta pesquisa é dividida em três fases: Fase I: mapeamento das falhas identificadas no momento da montagem mecânica de três equipamentos, considerando os hábitos e métodos atuais da organização, para identificar dos tipos de falhas que acometem peças fabricadas; Fase II: combinação dos métodos FMEA e A3 para solução de problemas em um documento modelo no formato A3 e elaboração de um *checklist* para revisão do detalhamento; Fase III: aplicação do método na análise de falhas na fase de projetos e também na solução de falhas conceituais na fase de montagem mecânica e testes, promovendo o registro do conhecimento gerado. A análise das informações ocorreu de modo qualitativo e quantitativo, compreendendo tabelas e gráficos obtidos pelos dados coletados. Os resultados obtidos demonstraram viabilidade de aplicação do método proposto tanto para a análise de falhas quanto para o registro do conhecimento. Além disso, também foi possível constatar que a adoção de práticas de melhoria na rotina, como por exemplo, o *checklist* de revisão do detalhamento, mesmo que não compreenda todos os desenhos, pode minimizar em até 10% o número de peças com falhas.

PALAVRAS-CHAVE: projeto; FMEA; análise de falhas; Método A3; conhecimento gerado.

ABSTRACT

One of the techniques used to ensure product quality and reliability even in the design phase is the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) that, with preventive measures, seeks to mitigate the failure modes. However, some limitations of this tool restrict its application. As a result of these limitations, this study proposes a method that integrates the philosophy of A3 method and FMEA practices on a standard A3 document for fault analysis and recording of the knowledge generated. The study is applied in an industrial automation company whose production process is characterized by jobbing and aims to contribute in improving the process of analyzing faults and troubleshooting. This study is divided into three phases: Phase I: mapping of the faults identified at three mechanical assembly equipment, considering the organization's current habits and methods to identify the types of flaws that affect manufactured parts; Phase II: combination of techniques FMEA and A3 on a model document in A3 format and preparation of a checklist for details of the review; Phase III: the method in the failure analysis in the design phase and also in the solution of conceptual flaws in the mechanical assembly stage and testing, support the registration of the knowledge generated. The analysis of the information was qualitative and quantitatively, including charts and graphs obtained by the data collected. The results showed feasibility of the method proposed for both failure analysis and for the registration of knowledge. Moreover, it was also possible to demonstrate that the adoption of the routine improvement practices, such as the checklist detailing the review, even not comprising all the drawings, can minimize up to 10% the number of parts with failures.

Keywords: design; FMEA; failure analysis; A3 method; generated knowledge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxo da Engenharia Sequencial e Simultânea.....	30
Figura 2.2 - Modelo para o processo de desenvolvimento de produto	32
Figura 2.3 – Ciclos da Fase de Detalhamento	34
Figura 2.4 – Relação entre as fases de Projeto Conceitual e Detalhado	35
Figura 2.5 – Métodos de Avaliação dos SSCs	35
Figura 2.6 - Formulário FMEA	39
Figura 2.7 - A FMEA e a "Alavanca da Qualidade"	43
Figura 2.8 - Relatório A3	48
Figura 2.9 - Ciclo do PDCA.....	49
Figura 2.10 - Fluxo quando se combina FMEA com A3	52
Figura 2.11 - Cenário <i>To-Be</i> : Capturando o Conhecimento Dinâmico	54
Figura 3.1 - Estrutura de Implementação	58
Figura 3.2 - Itens do <i>Checklist</i> de Revisão do Detalhamento.....	62
Figura 3.3 - Fluxograma do Conhecimento Gerado.....	63
Figura 4.1 - Fases do Processo de Desenvolvimento do Produto.....	66
Figura 4.2 - Ata Análise de Falhas	68
Figura 4.3 - Estação de Montagem e Teste do Impulsor.....	69
Figura 4.4 - Linha Mola Membrana	70
Figura 4.5 - Células Robotizada e de Acabamento	71
Figura 4.6 - Total de Peças x Total de Peças Retrabalhadas	72
Figura 4.7 - Percentual de Retrabalhos por Amostra	72
Figura 4.8 - Número de Peças Retrabalhadas por Tipo de Ocorrência.....	73
Figura 4.9 - Célula Automatizada para Rebarbação.....	80
Figura 4.10 - Máquina de Polimento.....	81
Figura 4.11 - Unidade Individual de Inspeção	81
Figura 4.12 - Total de Peças x Total de Peças Retrabalhadas	86
Figura 4.13 - Percentual de Retrabalhos: Com Revisão x Sem Revisão.....	87
Figura 4.14 - Estratificação de Retrabalhos	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Modo de falha com abordagem funcional e estrutural	38
Tabela 2.2 - Inter-relação entre FMEA e Relatório A3.....	53
Tabela 3.1 - Planilha para mapeamento de falhas	59
Tabela 3.2 - Elementos do documento A3 e a relação com a FMEA.....	61
Tabela 4.1 - Relação de desenhos x peças fabricadas por amostra	71
Tabela 4.2 - Participantes na reunião da “FMEA”	74
Tabela 4.3 - Documento padrão para análise de falhas na fase de projeto	76
Tabela 4.4 - Documento para análise de falhas nas fases de montagem e testes	78
Tabela 4.5 - Relação de desenhos e peças por amostra	83
Tabela 4.6 - Revisão do detalhamento - Amostra D	84
Tabela 4.7 - Revisão do detalhamento - Amostra E.....	84
Tabela 4.8 - Revisão do detalhamento - Amostra F.....	85
Tabela 4.9 - Relatório A3 para falhas de conceito – Amostra D	91
Tabela 4.10 - Relatório A3 para falhas de conceito – Amostra E	92
Tabela 4.11 - Evolução das tentativas para a pinça.....	94

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	Centro de Custo
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>
DP	Desenvolvimento de Produto
EBT	Empresa de Base Tecnológica
ELV	<i>Electronic Label Verification</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Norma Brasileira
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
RG	Registro Geral
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SSC	Sistemas, Subsistemas e Componentes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	23
1.2.1 Empresas de Base Tecnológica (EBTs) e suas Características	23
1.2.2 Desafios das EBTs no Processo de Desenvolvimento de Produtos	24
1.3 OBJETIVOS	26
1.4 CONTRIBUIÇÃO	26
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	29
2.1.1 O Processo de Desenvolvimento de Produtos	30
2.1.2 Modelo de Referência e as Fases do Desenvolvimento de Produtos	31
2.2 FMEA – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS	36
2.2.1 Evolução Histórica	36
2.2.2 Definições	37
2.2.3 FMECA	40
2.2.4 Classificação da FMEA.....	41
2.2.5 FMEA de Projeto	42
2.2.6 Time da FMEA	44
2.2.7 Benefícios da FMEA.....	44
2.2.8 Limitações e dificuldades de aplicação da FMEA	45
2.3 MÉTODO A3 PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	46
2.3.1 Origem e Definição	46
2.3.2 Tipos de Relatórios A3	46
2.3.3 As Sete Etapas do A3	47
2.3.4 Benefícios do método A3.....	50
2.3.5 Aplicações do A3.....	50
2.3.6 Método A3 combinado com a FMEA	51
3 METODOLOGIA	57
3.1 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	57
3.1.1 Formulação do problema e delimitação do escopo da pesquisa	58

3.1.2 Estrutura do Método	58
3.1.3 Definição das Amostras	64
4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO	65
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA X	65
4.2 FASE I – PRÁTICAS ATUAIS DA EMPRESA X	65
4.2.1 Documento de falhas	67
4.2.2 Apresentação das amostras mapeadas.....	69
4.2.3 Mapeamento dos retrabalhos	71
4.3 FASE II – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO	74
4.3.1 Combinação dos elementos no documento padrão	74
4.3.2 Evento de sensibilização.....	79
4.3.3 Checklist de revisão do detalhamento.....	79
4.4 FASE III – APLICAÇÃO E RESULTADOS	79
4.4.1 Apresentação das amostras.....	79
4.4.2 Aplicação do método	82
4.4.3 Aplicação do checklist de revisão do detalhamento.....	83
4.4.4 Mapeamento dos retrabalhos	85
4.4.5 Registro do conhecimento: solução de falhas de conceito utilizando o método A3 na fase de montagem mecânica e testes.....	88
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
5.1 CONCLUSÕES	97
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
APÊNDICE A – MAPEAMENTO DE FALHAS PRÉ – APLICAÇÃO DO MÉTODO	113
APÊNDICE B – APLICAÇÃO DO MÉTODO RELATÓRIO A3 PARA MAPEAMENTO DE FALHAS – FASE DE PROJETO... 	119
APÊNDICE C – MAPEAMENTO DE FALHAS PÓS – APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	127

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de ser competitivo no mercado global tem se tornado uma questão de sobrevivência para as empresas nas últimas décadas. De acordo com Beiter *et al.* (2000), esse cenário está associado ao ciclo de vida dos produtos cada vez mais reduzido, combinado com a pressão para disponibilizar ao consumidor produtos diferenciados, com qualidade elevada, com baixo custo e em curto espaço de tempo. Em se tratando de desenvolvimento de produtos, atender a todos esses requisitos, além de uma necessidade, é também um desafio para as organizações. Para Sobek II *et al.* (1999), a capacidade de disponibilizar no mercado produtos que realizem sua função adequadamente, com o mínimo de falhas possível, contribui para distinguir as melhores empresas das demais.

Partindo desse princípio, as organizações passam a buscar modelos de referência e ferramentas de padronização para auxiliar na melhoria contínua dos processos. Tal procedimento contribui para garantir mais qualidade nos produtos e serviços que oferecem ao mercado. No caso das empresas do segmento de automação industrial em que os produtos desenvolvidos são customizados e, na grande maioria das vezes, contam com várias tecnologias integradas, adotar procedimentos e ferramentas para melhorar a qualidade e confiabilidade ainda nas fases iniciais do desenvolvimento torna-se fundamental.

De acordo com Fagundes e Almeida (2004), a necessidade crescente em aperfeiçoar a qualidade de produtos e serviços e a satisfação dos clientes tem conduzido a vários métodos e técnicas para minimizar ou elidir falhas. O objetivo desses métodos e técnicas é aprimorar a confiabilidade de produtos ou processos, isto é, aumentar a probabilidade de desempenhar uma determinada função sem falhas. Dentre as técnicas mais usuais para antecipar falhas, conforme Araujo *et al.* (2001), tem-se a *Failure Mode and Effects Analysis* – FMEA (traduzida pela Associação Brasileira de Normas (ABNT) - Norma 5462 (1994), como Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos). Ela é caracterizada como uma técnica analítica, e sua aplicação visa minimizar a probabilidade de falhas melhorando a qualidade e confiabilidade em projetos, sistemas, processos e serviços (STAMATIS, 2003). Embora seja uma técnica bastante difundida e aplicada em vários segmentos de negócio, os usuários da técnica relatam algumas dificuldades do método que dificultam a aplicação.

Dentre as barreiras do método apresentadas na literatura, pode-se citar: os valores dos *Risk Priority Numbers* – RPNs (Números de

Prioridade de Riscos) não são precisos, havendo dificuldade em estimar os valores para os índices (JENAB; DHILLON, 2005; KARA-ZAITRI, *et al.*, 1991; SANKAR; PRABHU, 2001); o método é considerado muito trabalhoso e enfadonho (ELMQVIST; NADJM-TEHRANI, 2008), bem como muito demorado e caro devido à sua natureza detalhada (ALTABBAKH *et al.*, 2013).

As restrições para a adoção desse método na íntegra podem aumentar quando se trata de empresas cujo processo produtivo caracteriza-se por *jobbing*. De acordo com Slack *et al.* (2009), processos de *jobbing* trabalham com baixos volumes a alta variedade, diferindo do processo de projeto por não terem recursos de operação dedicados e sim compartilhados para os produtos. Com base nesta definição de processo e levando-se em consideração o compartilhamento dos recursos, outras restrições se sobressaem quando se trata da FMEA. Dentre elas estão a dificuldade em reunir o time multidisciplinar (Huang *et al.*, 2000, e Teng *et al.* 2006), e as queixas que a aplicação de um FMEA completo e rigoroso requer grande quantidade de tempo e recursos (CARMIGNANI, 2008; CHAO; ISHII 2007). Desse modo, não raro, a FMEA é realizada sem a compreensão do time sobre a sua real importância e para cumprir questões contratuais (KARA-ZAITRI *et al.* 1991; TEOH; CASE, 2005).

Nesse contexto, buscou-se desenvolver um método que integra a filosofia do método A3 para solução de problemas e as práticas da FMEA em um formulário padrão. O método é aplicado na análise de falhas, nas fases de projeto e montagem mecânica/testes em uma Empresa de Base Tecnológica (EBT) do segmento de automação industrial.

O método A3 é uma das muitas ferramentas desenvolvidas pela Toyota para a melhoria contínua do desempenho operacional. Embora a ideia das informações A3, prioritariamente, foi a de ser uma ferramenta de resolução de problemas em conjunto com uma gestão baseada PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), também pode ser usado para manter o controle de mudanças e *status* do projeto (SOBEK II; SMALLEY, 2008). De acordo com Saad *et al.* (2013), o conhecimento gerado, baseado na aplicação do método A3, permite ao projetista maior compreensão do conhecimento útil apurado e documentado em um novo relatório A3, que pode ser utilizado como referência ou solução para mitigar falhas no projeto. Para Ward (2007), o conhecimento utilizável é o valor básico criado durante o desenvolvimento do produto, pois previne defeitos, estimula os clientes, e cria um fluxo de valor operacional rentável que é o objetivo de desenvolvimento do produto.

O método A3 atua como mecanismo para na análise de causa raiz e pensamento científico, além de alinhar os interesses dos indivíduos e departamentos em toda a organização. Incentiva o diálogo construtivo e ajuda as pessoas a aprenderem umas com as outras, por meio da experiência com os erros e tentativas com base em um plano (SHOOK, 2009).

Desse modo, a integração das duas técnicas visa minimizar as restrições encontradas na aplicação da FMEA, propondo aos usuários mais objetividade na análise das possíveis falhas na fase de projeto. Além disso, quando aplicado na solução das falhas nas fases de montagem e testes, o método estimula o aprendizado em grupo e registra o histórico das soluções implementadas. O registro do conhecimento gerado nas ações executadas contribuirá para a prevenção de falhas futuras.

Para dar suporte à fase de detalhamento e minimizar retrabalhos nas peças fabricadas, também foi desenvolvido um *checklist* de revisão. A aplicação do *checklist* se restringe às peças cujos processos de fabricação possuem maior valor agregado como, por exemplo, processo de usinagem.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

1.2.1 Empresas de Base Tecnológica (EBTs) e suas Características

De acordo com Ferro (1988), as EBTs são empresas criadas para fabricar produtos ou oferecer serviços que utilizam alto conteúdo tecnológico. Além disso, dispõem de competência rara ou exclusiva em termos de produtos ou processos viáveis comercialmente e possuem elevado grau de conhecimento científico.

Para Fernandes e Côrtes (1999), EBTs são empresas que têm no conhecimento um elemento estratégico para a sua competitividade e realizam importantes esforços tecnológicos, uma vez que dedicam a maior parte do seu tempo no desenvolvimento e fabricação de novos produtos.

Gonzalez *et al.* (2009) definem EBT como uma empresa criada a partir de tecnologias desenvolvidas principalmente no interior da própria organização. Essa empresa pode ser originária de uma universidade, um centro de pesquisa ou uma empresa privada.

Com relação às EBTs do setor de automação de controle de processos, Jugend *et al.* (2005) as definem como sendo aquelas envolvidas com atividades de desenvolvimento e produção de produtos

que, objetivam o controle de processos de fabricação empregando tecnologia mecânica, eletrônica, telemetria e de informática.

Fernandes *et al.* (2000), SEBRAE/IPT (2001), Maculan (2003) elencam as principais características das EBTs brasileiras:

- Operam em baixa escala;
- São comprometidas com o projeto;
- Desenvolvem e produzem novos produtos de alto conteúdo tecnológico tais como bens de capital, componentes e sistemas industriais;
- Operam em mercados restritos e específicos (nichos de mercado), comumente atuando com substituição de importações.

Andrade Júnior (2006) também destaca o elevado grau de conhecimento tecnológico do capital humano e tecnologias agregadas aos produtos com peso relativamente maior no seu custo final, em comparação com a matéria-prima neles incorporada.

Em relação às principais dificuldades vivenciadas por este tipo de organização, Maculan (2003) destaca as de cunho financeiro, de gestão e de recursos humanos, que afetam as atividades de inovação.

Para Toledo *et al.* (2008), as limitações de gestão dessas empresas também se refletem na gestão dos projetos de desenvolvimento.

1.2.2 Desafios das EBTs no Processo de Desenvolvimento de Produtos

Para Falvo e Silva (2008), o processo de desenvolvimento de produtos exerce importância estratégica para as empresas, uma vez que se situa na interface entre a corporação e o mercado. Ainda conforme os autores cabe ao desenvolvimento de produtos identificar (ou mesmo antecipar) as necessidades do mercado e propor soluções que atendam a essas necessidades mais rápido que seus concorrentes.

Um estudo realizado por Gupta e Wilemon (1990) sobre o ambiente de inserção das EBTs aponta que, para desenvolverem produtos, essas organizações devem lidar sobretudo com:

- O desenvolvimento sucessivo de novas tecnologias, o que torna rapidamente obsoletos os produtos existentes;
- Mudanças rápidas nas necessidades dos consumidores, reduzindo o ciclo de vida dos produtos;

- A necessidade de envolvimento expressivo de atores externos no processo de desenvolvimento de produtos (PDP), mais do que no desenvolvimento de produtos de menor conteúdo tecnológico.

Em relação às frequentes mudanças das necessidades do mercado consumidor e a rapidez com que um produto se torna obsoleto, VERGANTI *et al.* (2001) e MARCH-CHORDÀ *et al.* (2002) adicionam dois desafios às EBTs no que tange o desenvolvimento de produtos: aprendizado contínuo durante o processo de desenvolvimento, e incorporação de novas informações de projeto até a conclusão do processo de desenvolvimento do produto.

Jugend e Silva (2005) também destacam desafios intrínsecos às EBTs do segmento de automação industrial no PDP, a saber: necessidade de domínio e integração de tecnologias distintas (óptica, eletrônica, mecatrônica, software, telemetria, entre outras) aplicadas aos seus produtos e; necessidade de estreita relação com os consumidores para a adequada personalização do produto em conformidade com a linha de produção da indústria.

Rozenfeld *et al.* (2006) também destacam o desafio de gerenciar as incertezas envolvidas no processo de desenvolvimento de produtos, onde as decisões de maior peso precisam ser tomadas no momento em que existe maior grau de incerteza.

Analisando sob a ótica da *Engeneering to Order* (ETO) também conhecida como Engenharia sob Encomenda, além dos desafios citados, há também que se considerar a ocorrência de retrabalhos decorrentes de falhas conceituais, envolvendo peças fabricadas e também itens comerciais, e de detalhamento. A empresa, objeto deste estudo, apresenta-se carente da utilização de ferramentas estruturadas e práticas de rotina para suportar a prevenção de falhas durante o processo de desenvolvimento de produtos. Esta lacuna contribui para a ocorrência de falhas que, na maioria das vezes, são identificadas apenas nas etapas mais avançadas do projeto, como por exemplo, as fases de montagem mecânica e testes. Estas falhas impactam nos prazos, na mão de obra, custos do projeto e também no desempenho da equipe operacional, uma vez que a correção e fabricação de uma peça são de aproximadamente três e sete dias úteis respectivamente. Desse modo, a motivação para o desenvolvimento desta pesquisa reside em estruturar um método para atuar na minimização de falhas na fase de projeto e também em registrar o histórico do conhecimento gerado com a implementação das ações corretivas.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consiste em desenvolver a combinação dos métodos da FMEA e A3 em um documento padrão para a análise de falhas e registro do conhecimento gerado em etapas do processo de uma indústria fabricante de sistemas de automação industrial. Para atender o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar a viabilidade da combinação das duas técnicas na análise de falhas pela revisão da literatura;
2. Elaborar documento padrão para análise de falhas;
3. Aplicar o método nas fases de projeto mecânico, montagem mecânica e testes de sistemas de automação industrial em uma empresa;
4. Criar histórico do conhecimento gerado na solução de falhas conceituais.

1.4 CONTRIBUIÇÃO

Academicamente se objetiva que o método desenvolvido nesta pesquisa não se restrinja às EBTs e ao segmento de automação industrial, mas também seja explorado em empresas de outros segmentos de negócios.

Já as contribuições para as corporações incidem na adoção de uma prática de melhoria para atuar no desempenho de minimização e recorrência de falhas.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos.

No Capítulo 1 apresenta-se a introdução sobre o escopo do trabalho, os objetivos geral e específicos e as contribuições da pesquisa.

No Capítulo 2, com base na literatura, são apresentadas as definições conceituais de desenvolvimento de produto, empresas de base tecnológica (EBTs), FMEA e o método A3 para a solução de problemas.

O Capítulo 3 descreve a metodologia da pesquisa adotada para o trabalho, bem como explica o planejamento e procedimentos adotados para compor o método aplicado neste trabalho.

O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso, abrangendo a sua descrição e a análise dos resultados.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre os principais conceitos e abordagens sobre: o desenvolvimento de produtos e suas etapas, a FMEA, o A3 para solução de problemas e a combinação destes dois métodos.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

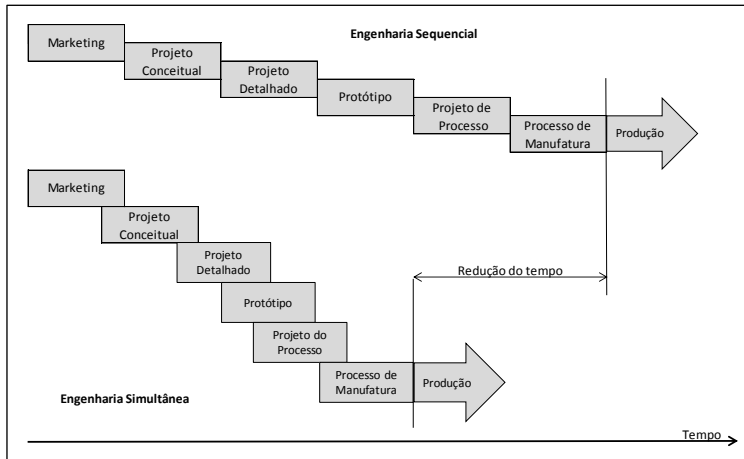
Para se manterem no patamar da competitividade as empresas estão cada vez mais pressionadas a reduzir o tempo para o desenvolvimento de produtos e processos (TOLEDO *et al.*, 2002). Nesse contexto, muitas empresas passaram a adotar a Engenharia Simultânea (*Concurrent Engineering*) como uma iniciativa que, além de reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento, aumenta a qualidade do produto desenvolvido e também minimiza seus custos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Para Al-Ashaab *et al.* (2009), a Engenharia Simultânea é uma abordagem para o desenvolvimento de produtos em que os times multidisciplinares trabalham em conjunto desde a fase de requisitos até a produção. De acordo com os autores, a ideia é garantir que as necessidades de todos os atores envolvidos no desenvolvimento de produtos sejam atendidas, minimizando o número de mudanças de última hora, o tempo de lançamento e custos, bem como as decisões em cada fase do desenvolvimento do produto. De acordo com Kruglianskas (1995), a engenharia simultânea estabelece uma estratégia empresarial orientada a permitir a aceleração do processo de desenvolvimento de projetos.

Uma característica do modelo da engenharia simultânea é que esta se constitui em uma abordagem de gestão de projetos que se contrapõe ao modelo sequencial, em que o projeto de produto segue uma trajetória ordenada etapa por etapa pelas diferentes áreas funcionais da empresa (SOBEK II *et al.*, 1999; KRUGLIANSKAS, 1995). A Figura 2.1 ilustra a diferença entre os dois modelos.

Na Engenharia Sequencial, cada área após finalizar suas atribuições encaminha a documentação para a área seguinte. Caso a área seguinte identifique algum problema, a documentação retorna para correção. Esse procedimento propicia atrasos e conflitos, e não garante a melhoria da qualidade.

Figura 2.1 - Fluxo da Engenharia Sequencial e Simultânea



Fonte: Adaptado de Yazdani & Holmes (1999)

Já na Engenharia Simultânea, a participação de todas as etapas ocorre paralelamente ao processo. Esse fluxo contribui na redução do tempo, quando comparado ao fluxo da engenharia sequencial.

2.1.1 O Processo de Desenvolvimento de Produtos

Superar as expectativas e satisfazer o cliente acompanhando a evolução tecnológica e a dinâmica do mercado global são fatores que têm estimulado a competição industrial, principalmente quando se trata desenvolvimento de novos produtos. Para Silva (2002), não há produto ou serviço oferecido por uma empresa sem que exista um processo empresarial. Davenport (1994) define processo como uma ordenação específica das atividades de trabalho, as quais possuem começo, fim, entradas e saídas bem definidos. De acordo com o autor, a adoção de uma estrutura fundamentada em processo implica em uma visão horizontal do negócio, minimizando-se ou eliminando-se a visão fragmentária das responsabilidades e relações de subordinação, tradicionais da estrutura de uma organização.

Conforme Jugend (2006), o desenvolvimento de produto (DP), quando estruturado como um processo, disponibiliza às organizações o fluxo de informações contidas nesse processo, ou seja, suas entradas, o processo em si e suas saídas (o produto final desenvolvido), sendo considerada uma ferramenta útil de gestão.

Para Rozenfeld *et al.* (2000), as atividades de DP podem ser vistas como um amplo processo de negócio, em que há integração desde o planejamento estratégico da empresa até a retirada do produto do mercado. Para os autores, quando há aplicação da abordagem de processo para as atividades de DP, os indivíduos deixam de fazer parte de seus departamentos independentes e tornam-se membros de times que agregam pessoas de diferentes áreas. Essa integração funcional permite um processo integrado, no qual as atividades e decisões acerca do DP são realizadas em conjunto. Nesse contexto, Clark e Wheelwright (1993) destacam que para a adoção da abordagem de processos para o DP é indispensável uma integração harmônica entre as funções organizacionais, principalmente entre marketing, engenharia e manufatura.

2.1.2 Modelo de Referência e as Fases do Desenvolvimento de Produtos

Em virtude da internacionalização dos mercados, do aumento da diversidade de produtos e dos seus ciclos de vida reduzidos, o desenvolvimento de produtos é um processo de negócio cada vez mais crítico (ROZENFELD *et al.*, 2006). Os autores também destacam a preocupação das organizações com a eficácia (capacidade de apresentar resultados que atendam as expectativas do mercado e as estratégias da empresa) e a eficiência (capacidade de atingir resultados usando o mínimo de recursos para se desenvolver) do desenvolvimento de produtos.

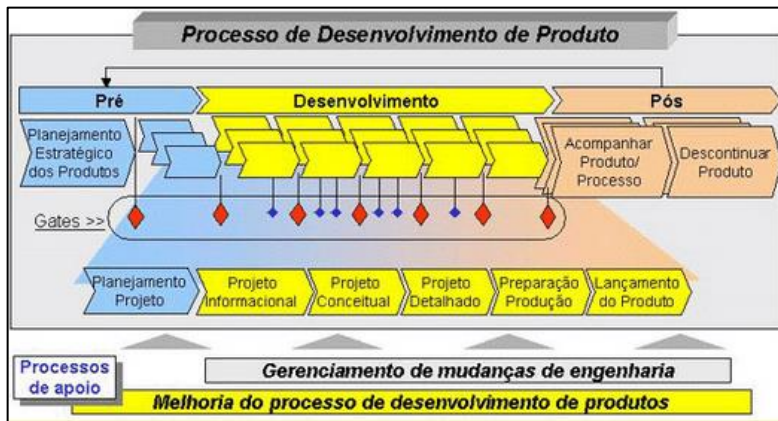
Com base nessa necessidade, muitas empresas passaram a adotar modelos de referência para definir o padrão de trabalho que desejam seguir para o DP (VILLARI, 2011). Para Rozenfeld *et al.* (2006), é fundamental adotar um modelo de referência para que todos os envolvidos tenham visão homogênea do processo.

Há diversos modelos de referência apresentados pela literatura (CLARK; WHEELWRIGHT, 1993; COOPER, 2001; CRAWFORD; BENEDETTO, 2006). Como base de estudo para este trabalho será considerado o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006), ilustrado na Figura 2.2.

De acordo com os autores, o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) deve estar em conformidade com a missão e o direcionamento estratégico da empresa, isto é, a estratégia de produtos precisa estar alinhada com a estratégia da unidade de negócio, que por sua vez deve estar alinhada com a estratégia corporativa.

No modelo genérico proposto pelos autores, o que caracteriza cada fase é a entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*) que, juntos, originam um novo patamar de evolução do projeto de desenvolvimento. A avaliação dos resultados da fase atua também como marco importante de reflexão sobre a evolução do projeto, prevendo problemas e oportunizando aprendizagem para a empresa. Tal procedimento de avaliação amplo e minucioso é denominado *gate*.

Figura 2.2 - Modelo para o processo de desenvolvimento de produto



Fonte: ROZENFELD *et al.* (2006)

No modelo, Rozenfeld *et al.* (2006) ilustram o processo de desenvolvimento de produto em três macrofases subdivididas em etapas que agrupam atividades. As três macrofases compreendem Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento respectivamente. Para este estudo, será abordado apenas a macrofase de desenvolvimento.

Para Rozenfeld *et al.* (2006), o Modelo Unificado do PDP é voltado especialmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital. As macrofases de pré e pós-desenvolvimento podem ser adotadas (com adaptações) em empresas de outros segmentos. Já a macrofase de desenvolvimento destaca os aspectos tecnológicos apropriados à definição do produto em si, seus atributos e a forma de produção.

A macrofase de Desenvolvimento é composta das seguintes fases:

- **Projeto Informacional:** as atividades estão relacionadas principalmente com a aquisição e interpretação de informações sobre o projeto em questão. Os desejos e necessidades dos clientes são identificados, avaliados e transformados em especificações técnicas do projeto. Nesta macrofase, Rozenfeld *et al.* (2006) enfatizam a importância da engenharia simultânea. De acordo com os autores, um dos objetivos desta prática é fazer com que as modificações de projeto ocorram no início do desenvolvimento, momento em que o custo com alterações ainda é baixo.

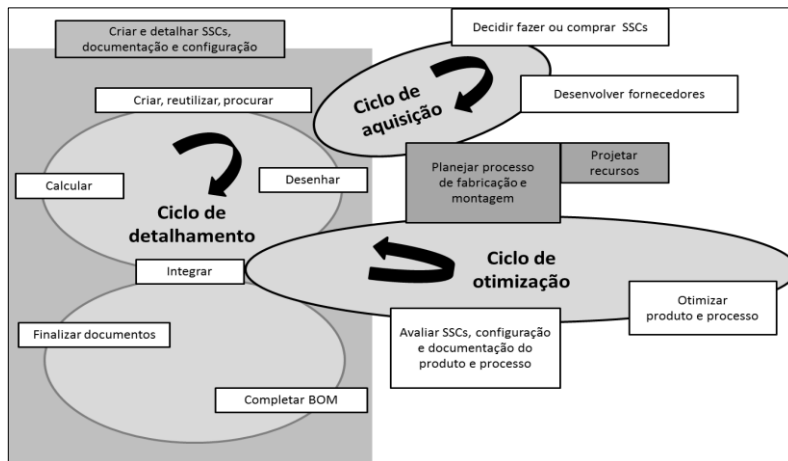
- **Projeto Conceitual:** com base as informações obtidas na fase anterior, propõe-se o conceito do produto. Esta fase é caracterizada por atividades de busca, criação, representação e triagem de soluções para o problema de projeto identificado na fase anterior. Também são definidos o *layout* do produto e das interfaces, cor, aparência, acabamento e seleção de materiais, formas, componentes, processos de fabricação e montagem. Na sequência é feita uma síntese da estrutura de funções do produto e das alternativas de alternativas de concepções propostas e aplicação da FMEA de sistema para mapear problemas potenciais a serem resolvidos na definição da concepção do produto. A partir desse evento são selecionadas as alternativas mais apropriadas às necessidades dos consumidores. Nesta fase também são estabelecidas parcerias de co-desenvolvimento, e definidos aspectos ergométricos e estéticos.

- **Projeto Detalhado:** Nesta fase as especificações do produto são desenvolvidas e finalizadas: tolerâncias dos componentes, o arranjo, a forma e as dimensões. São gerados os desenhos, os processos de fabricação são detalhadamente projetados, o produto é testado e homologado, planejado o fim de vida do produto. Na sequência a documentação final é encaminhada aos parceiros da cadeia de suprimentos. Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam o Projeto Detalhado composto por três ciclos (ciclo de detalhamento, ciclo de aquisição e ciclo de otimização), que acontecem simultaneamente às atividades de planejamento do processo de fabricação e montagem, e de concepção do material de suporte do produto e embalagens.

A atividade de destaque da fase é a criação e detalhamento dos SSCs (Sistemas, Subsistemas e Componentes), compreendida no ciclo de detalhamento, e é responsável por acionar os ciclos de aquisição e otimização. Essa atividade abrange decisões de reutilizar os SSCs da própria empresa ou do mercado. A Figura 2.3 ilustra as atividades que compõem cada um dos ciclos.

Posterior à identificação SSCs, o ciclo de aquisição é iniciado. Neste momento, a empresa decide entre fazer ou comprar o componente. No ciclo de aquisição também ocorre o desenvolvimento de fornecedores e a análise dos custos entre fabricar ou comprar para, assim, identificar o que é mais vantajoso.

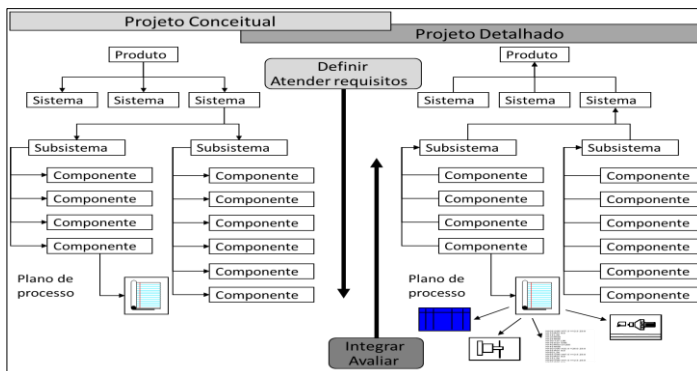
Figura 2.3 – Ciclos da Fase de Detalhamento



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

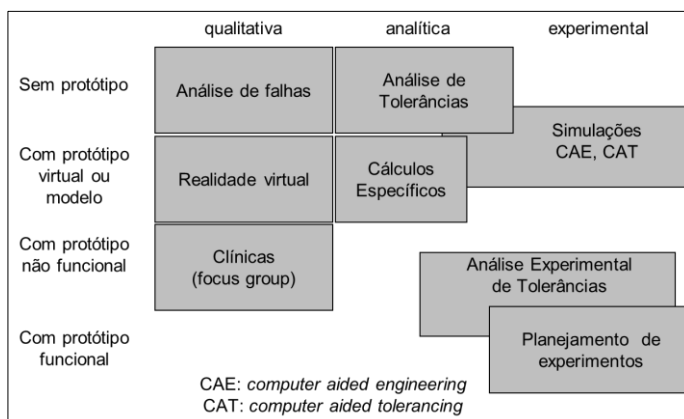
No ciclo de detalhamento são criados, detalhados e integrados os SSCs definidos para o produto no Projeto Conceitual. A definição dos SSCs na fase do Projeto Conceitual se dá pela perspectiva *top-down* (de cima para baixo), e a integração no Projeto Detalhado é definida pela perspectiva *bottom-up* (de baixo para cima). A Figura 2.4 elucida o conceito descrito.

Figura 2.4 – Relação entre as fases de Projeto Conceitual e Detalhado

Rozenfeld *et al.* (2012)

O ciclo de otimização também ocorre paralelamente ao ciclo de detalhamento e compreende as avaliações dos SSCs. Neste ciclo são analisadas as falhas, avaliadas as tolerâncias analiticamente, planejados os testes (produto e processo), desenvolvidos os modelos para testes, executados os testes, analisados os resultados, planejadas as ações e avaliada a conformidade da documentação com as normas. A avaliação dos SSCs pode dar-se de forma qualitativa, analítica ou experimental. A Figura 2.5 apresenta as possíveis combinações entre os métodos e abordagens.

Figura 2.5 – Métodos de Avaliação dos SSCs

Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

A análise de falhas é um procedimento qualitativo cuja finalidade é prevenir falhas antes da fabricação do protótipo. Esta atividade segue as diretrizes do método conhecido como FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos). Este método será abordado mais detalhadamente na seção 2.2.

- **Preparação da Produção:** esta fase compreende a produção do lote piloto, a definição dos processos de produção e manutenção, e visa garantir que a empresa consiga produzir o produto com qualidade e que também atenda os requisitos do cliente durante o ciclo de vida do produto.

- **Lançamento do Produto:** consiste em colocar o produto no mercado, com o objetivo de garantir a aceitação pelo cliente em potencial.

2.2 FMEA – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS

2.2.1 Evolução Histórica

Após a segunda guerra mundial houve uma reestruturação dos sistemas produtivos no mundo. Várias técnicas e ferramentas surgiram com o intuito de aprimorar produtos e processos ainda na fase de projeto e assim, reduzir desperdícios, aumentar a qualidade e tornar as organizações mais competitivas. Uma técnica que foi e ainda é bastante difundida para este fim é a FMEA. De acordo com Pentti e Atte (2002), a técnica da FMEA foi desenvolvida e documentada pelo Exército dos Estados Unidos em 1949 (*Military Procedure* - MIL-P-1629). Outras literaturas asseguram que a FMEA é originária dos estudos realizados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em 1963, durante o projeto Apollo (CLARKE, 2005; BERTSCHE, 2008; MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Mais tarde, em 1975, a FMEA foi utilizada no segmento nuclear e, em 1978, a *Ford Motor Company* foi a pioneira na indústria automobilística a integrar a FMEA em seu conceito de garantia da qualidade (CLARKE, 2005). No começo da década de 1980 as empresas automotivas que compõem a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) adotaram formalmente a FMEA através da norma QS-9000 (atual ISO/TS 16949), em seus procedimentos de desenvolvimento de produtos.

Devido à sua funcionalidade, a FMEA se expandiu para outros segmentos, e atualmente é aplicada em indústrias químicas e

petroquímicas (GUIMARÃES; LAPA, 2004; THIVEL; BULTEL; DELPECH, 2008), alimentícias (SCOTT; WILCOCK; KANETKAR, 2009; TSAROUHAS; ARVANITOYANNIS; AMPATZIS, 2009), *software* (BRAUN *et al.*, 2009; GÖNCZY *et al.*, 2009;), administrativo (MILAZZO *et al.*, 2009; RHEE; ISHII, 2003).

2.2.2 Definições

A FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise do Modo de Falha e seus Efeitos) é um método de engenharia aplicado para identificar antecipadamente os modos, efeitos e causas potenciais de falhas que podem ocorrer nos sistemas, produtos e processos, bem como estabelecer ações preventivas ainda na fase de desenvolvimento. Essa ferramenta, quando aplicada corretamente, evita alterações futuras de projeto para corrigir falhas no produto ou processo, garantindo mais qualidade aos olhos do consumidor.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994) e Bertsche (2008), definem a FMEA como um método qualitativo para a avaliação da confiabilidade que abrange o estudo dos modos de falhas que podem ocorrer em cada item e seus respectivos efeitos sobre os demais itens.

Outra definição expande a aplicação da ferramenta para a eliminação de falhas conhecidas ou potenciais dos sistemas, projetos ou de manufatura antes de disponibilizar o produto ao cliente final, com o objetivo de eliminar os modos de falha ou restringir os seus riscos (STAMATIS, 2003). Para Laurenti e Rozenfeld (2009), a FMEA é definida como um método de qualidade da engenharia que identifica, prioriza e reduz problemas potenciais de um produto.

Os resultados que expressam a essência da FMEA incluem mitigar os modos de falhas e seus efeitos, melhorar a confiabilidade, identificar e reduzir problemas potenciais. Contudo, para obter resultados significativos na aplicação do método é necessário entendimento claro das etapas que compõem a técnica. Sakurada (2001) destaca que conhecer claramente os conceitos relacionados ao modo de falha e efeito é um dos requisitos para a utilização da ferramenta. Nesse contexto, o autor apresenta definições de modo de falha, efeito e causa:

- **Modo de falha:** caracteriza-se pela maneira que o componente em estudo deixa de atender seus requisitos, ou seja, deixa de realizar sua função. O modo de falha é uma característica própria de cada item, haja

vista que cada componente tem seus atributos particulares como função, ambiente de trabalho, materiais, fabricação e qualidade.

- **Efeito:** consiste no resultado produzido quando o modo de falha se manifesta, ou seja, o efeito retrata a maneira que o modo de falha se manifesta gerando efeitos externos.

- **Causa:** é a razão que propicia a ocorrência do modo de falha, podendo estar nos componentes da vizinhança, fatores ambientais, falhas humanas, ou no próprio componente.

A norma SAE J-1739 (2002), referente ao método de Análise de Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA), define o termo como a maneira pela qual um componente, subsistema, ou sistema (item) poderia, potencialmente, falhar em atender seus requisitos de projeto.

Há duas abordagens para identificar o modo de falha: Funcional ou Estrutural. Abordagem funcional é genérica, e não necessita de informações de engenharia. Já a abordagem estrutural necessita de informações de engenharia e especificações de projeto (SAKURADA, 2001). A Tabela 2.1 apresenta um exemplo de modo de falha de acordo com as abordagens supracitadas.

Tabela 2.1 - Modo de falha com abordagem funcional e estrutural

Abordagem	Componente	Função	Modo de Falha
Funcional	Eixo	Transmitir movimento/torque	Não transmite movimento/torque
Estrutural	Eixo	Transmitir movimento/torque	Ruptura/desgaste empenamento...

Fonte: Adaptado de Sakurada (2001).

Ainda de acordo com o autor, em ambas as abordagens, a função do componente analisado precisa estar bem definida, para que seja possível identificar quando o item está ou não em modo de falha.

Após ter definido a função, os modos de falha, causas e efeitos, são estabelecidas as ações de correção, prazos e responsáveis por executar as ações de mitigação das falhas. Todos esses dados são registrados em um formulário, e deve ser considerado um “documento vivo”, isto é, a análise deve ser revisada sempre que ocorrerem alterações neste produto/processo específico. Desse modo, além de gerar histórico das alterações, a FMEA também auxilia o time de engenharia na prevenção de falhas recorrentes em novos projetos, processos e

serviços. Os formulários da FMEA possuem *layout* variável, de acordo com os critérios adotados por cada grupo ou empresa.

Com base no formulário de FMEA contido na SAE (2000), Sakurada (2001) apresenta um modelo de formulário para FMEA, conforme ilustrado na Figura 2.6. A seguir apresenta-se a descrição de cada um dos campos.

- **Sistema (1):** Refere-se ao objeto em estudo.
- **Participantes (2):** Elenca o nome de cada integrante presente na reunião da FMEA.
- **Página e Datas (3):** Número da página e datas de início e revisão da FMEA.
- **Componente (4):** Identifica o componente do sistema a ser analisado.
- **Função (5):** Descreve a função do componente para atender o escopo do projeto. A função precisa ser escrita de modo claro e objetivo para fácil entendimento. Caso o item apresente mais de uma função com distintos modos de falhas, as funções devem ser listadas separadamente (GONÇALVES, 2006).

Figura 2.6 - Formulário FMEA

ANÁLISE DO MODO E EFEITOS DE FALHAS (FMEA)							
Sistema: (1)		Participantes: _____ (2)			Página: ____ de ____ Data de Início: _____ Data de Revisão: _____ (3)		
Componente	Função	Modo Potencial de Falha	Efeitos Potenciais de Falha	Class	Causas Potenciais de Falha	Ações Recomendadas	Responsável e Data Limite de Conclusão
(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)

Fonte: Adaptado de Sakurada (2001)

- **Modo Potencial de Falha (6):** Define a maneira como a perda da função do componente se apresenta, isto é, como o componente em análise pode falhar.
- **Efeitos Potenciais de Falha (7):** Descrevem as consequências decorrentes do modo potencial de falha em termos do que o cliente (interno ou externo) pode perceber ou pela experiência, principalmente

se a função afetar a segurança ou atendimento às normas legais (FORD FMEA HANDBOOK, 2004).

- **Classificação (8):** Esta coluna pode ser utilizada para classificar quaisquer características especiais (críticas, significativas, fundamentais) do componente, sistema ou subsistema que podem necessitar de controles de processo ou projeto adicionais. Também pode ser usada para destacar modos de falha de alta prioridade para a engenharia, caso o time considere útil (FORD FMEA HANDBOOK, 2004).

- **Causas Potenciais de Falha (9):** É definido como a razão de ocorrência do modo de falha.

- **Ações Recomendadas (10):** São as medidas de melhoria a serem adotadas para mitigar ou minimizar as causas de falhas. Vale destacar que, em casos onde o efeito de um modo de falha potencial identificado pode ser um perigo para o usuário final, devem ser consideradas ações preventivas/corretivas para evitar o Modo de Falha ao eliminar, mitigar ou controlar a causa (FORD FMEA HANDBOOK, 2004).

- **Responsável / Data Limite de Conclusão (11):** Definem-se os indivíduos responsáveis pela execução das ações com os respectivos prazos para conclusão e apresentação destas.

2.2.3 FMECA

A FMECA - *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticalidade) é considerada como uma extensão do método da FMEA (MOHR, 1994). A letra “C” adicionada à sigla da FMEA indica a adição da análise da criticalidade ao método. Normalmente não há uma distinção clara na literatura para indicar se está se discutindo sobre FMEA ou FMECA e, assim, elas fundem-se nos conceitos e aplicações. Para Mohr (1994), a diferença entre FMEA e FMECA dá-se conforme representado na expressão (2.1):

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + \text{C} \quad (2.1)$$

sendo

$$\text{C} = \text{Criticalidade} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência}$$

A severidade avalia a gravidade ou os impactos dos efeitos da falha. Já a ocorrência analisa a probabilidade da falha acontecer. De acordo com Mikos (2008), aplica-se o índice de severidade somente ao

efeito do modo de falha, e esse só se modifica com alterações de projeto do componente ou redesenho do processo.

Outro índice que integra as métricas da ferramenta é a probabilidade de detecção das falhas. A detecção se refere à capacidade de controle do processo ou projeto, empregado para identificar a causa em análise (STAMATIS, 2003; SAE, 2002). Estes índices (severidade, ocorrência e detecção) são avaliados por uma escala numérica com variação de 1 a 10 e, quanto maior o índice, mais crítica é a situação.

Depois de estabelecidos os índices de severidade, ocorrência e detecção, calcula-se o número de prioridade de risco (NPR) para cada uma das causas, conforme a expressão (2.2).

$$\text{NPR} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \quad (2.2)$$

Com base no valor do NPR, são então tomadas as ações corretivas para a prevenção das falhas cujo NPR justifica prioridade (SLACK, 2009).

Para registro das informações resultantes da FMECA, são adicionados ao formulário da FMEA (Figura 2.7) os campos relacionados aos índices de severidade, ocorrência, detecção, NPR e resultado das ações tomadas.

2.2.4 Classificação da FMEA

Na literatura pode-se identificar a existência de alguns tipos de FMEA. Para Stamatis (2003), a FMEA pode ser classificada em quatro tipos:

- **FMEA de sistemas (*System FMEA*):** também chamado FMEA de Conceito, é utilizado para avaliar sistemas e subsistemas nas fases iniciais de conceito e projeto. Esta classificação se preocupa com os prováveis modos de falha relacionados às deficiências do sistema ou das funções determinadas para o sistema, e também para as interações do sistema e seus elementos.

- **FMEA de projeto (*Design FMEA*):** empregado para analisar produtos antes que sejam liberados para a fabricação. Este tipo de FMEA atua nos possíveis modos de falha relacionados a deficiências no projeto do produto em relação às funcionalidades do produto ou de seus componentes.

- **FMEA de processo (*Process FMEA*):** utilizado para analisar os processos de fabricação e montagem. Este tipo de análise está voltada

para os modos de falha relacionados às deficiências nos processos ou montagem.

- **FMEA de serviço (*Service FMEA*):** aplicado para analisar serviços antes que estes cheguem ao cliente. Este tipo atua nos modos de falha relacionados às tarefas e processos de trabalho.

O guia Ford FMEA Handbook (2004) aborda quatro tipos aplicações, sendo que as três primeiras estão relacionadas a Conceito, Projeto e Processos. A quarta classificação do método é a *Machinery FMEA*, cuja aplicação visa avaliar equipamentos e ferramentas durante a fase de projeto para melhorar a segurança do operador, confiabilidade e robustez das máquinas.

Para Reid (2005), a técnica é a mesma para cada tipo de FMEA, porém os critérios envolvidos em cada análise é que diferem. O autor também destaca que a técnica é mais eficaz quando o processo de projeto e FMEA estão ligados por critérios comuns de avaliação.

Ainda de acordo com Helmann e Anderly (1995) e o guia Ford FMEA Handbook (2004), há três situações que caracterizam a aplicação da FMEA:

- Desenvolvimento de novos projetos, tecnologias ou processos,
- Modificações em produtos ou processos já existentes,
- Uso de processo ou projeto existente em outro ambiente.

Nas duas últimas situações pressupõe-se que já exista a FMEA, de modo que o foco da “segunda” FMEA estará voltado às falhas provocadas pelas modificações e os impactos gerados pelo novo ambiente respectivamente.

Neste trabalho serão abordadas com mais detalhes as características da FMEA de projeto, também conhecida como FMEA de produto ou DFMEA (*Design Failure Modes and Effects Analysis*).

2.2.5 FMEA de Projeto

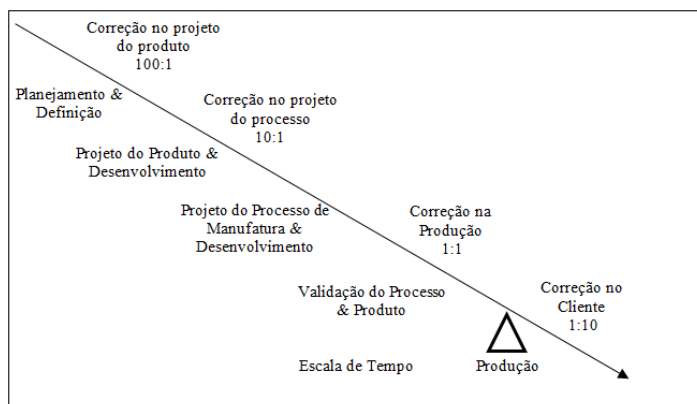
Conforme apresentado na Seção 2.1, um produto passa por várias fases até chegar a seu estado final. As fases iniciais (projetos informacional e conceitual) são as fases mais recomendadas na literatura para aplicação da FMEA de projeto, tendo em vista que os impactos com custo, tempo e recursos necessários para alterações são menores frente às demais fases de evolução. Para Teng e Ho (1996), a FMEA de Projeto é um método para verificar se os materiais apropriados estão sendo usados, para estar em conformidade com as especificações do

cliente, e para garantir que as regulamentações governamentais estão sendo cumpridas, antes de finalizar o projeto do produto. Stamatis (2003) define a FMEA de projeto como uma técnica disciplinada de identificação potencial ou conhecimento dos modos de falha que possibilita o acompanhamento e ações corretivas antes que a produção seja executada. Nesta aplicação da FMEA é realizado o mapeamento de cada componente, função, material utilizado, tolerâncias do sistema e seus possíveis modos de falha associados são analisados, bem como seus efeitos (ARAÚJO *et al.*, 2000; BASTOS, 2006).

Para Stamatis (2003), a aplicação da técnica nas fases iniciais permite a identificação dos custos latentes, que comumente são maiores que os contabilizados ainda na etapa de projeto. A Figura 2.7 ilustra o desempenho da FMEA com relação à escala do tempo, onde se pode observar que quanto mais cedo ocorrer o planejamento e a aplicação da ferramenta, maiores serão os benefícios que poderão ser obtidos com relação ao esforço dispendido. Outra análise que pode ser feita observando a figura é que quanto mais evoluído estiver o processo menos eficiente a ferramenta se torna (retorno de 1 para cada 10 unidades).

Nesse contexto, a norma IEC 60812 (2006) destaca a importância do uso da técnica, preferencialmente nas etapas iniciais do período de desenvolvimento, haja vista que nesta fase os custos com a retirada ou mitigação dos modos de falha são, na maioria das vezes, menos onerosos.

Figura 2.7 - A FMEA e a "Alavanca da Qualidade"



Fonte: Adaptado de Stamatis (2003)

2.2.6 Time da FMEA

Conforme a AIAG (2008), a FMEA pode ser realizada em uma ou mais sessões suportada por um time multidisciplinar. Essa prática da multidisciplinaridade possibilita que todas as áreas funcionais da empresa afetadas pela análise sejam envolvidas. Na prática, tem sido demonstrado que a execução do FMEA sob a direção de um facilitador, familiar com o procedimento metodológico, é benéfica, no sentido de evitar discussões referentes ao método (BERTSCHE, 2008).

Para Palady (1997), é importante definir um líder com conhecimento sobre a FMEA para conduzir e orientar o time, bem como se envolver ativamente na análise com todos os representantes das áreas envolvidas (projeto, montagem, qualidade e demais áreas que possam estar envolvidas de acordo com a variação do projeto). Desse modo, o time busca englobar o máximo conhecimento e experiência possível na definição do escopo e análise detalhada para identificar e minimizar os modos de falhas e seus impactos no sistema.

O dimensionamento do time depende da complexidade do sistema e do porte da organização (AIAG, 2008). Pode alterar entre 4 a 6 membros. Se menos de 3 ou 4 pessoas estiverem na sessão, corre-se o risco de pontos importantes passarem despercebidos ou serem abordados inadequadamente. Sob outra ótica, se o time ultrapassar de 7 a 8 integrantes, a dinâmica das discussões do grupo pode ser enfraquecida por falta de integração entre os membros do time, conduzindo a aborrecimentos nas reuniões de FMEA (LEVIN; KALAL, 2003; BERTSCHE, 2008).

Outro ponto destacado na literatura refere-se à participação de indivíduos no time com diferentes níveis de familiaridade com o produto ou processo. Isso porque aqueles que possuem maior familiaridade terão importantes discernimentos (*insights*), mas talvez não observem problemas potenciais evidentes. Com relação aos menos familiarizados com o produto ou processo, estes apresentarão ideias objetivas e imparciais (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

2.2.7 Benefícios da FMEA

Um dos benefícios desta técnica é o de proporcionar melhorias no que tange a qualidade e confiabilidade do produto. De acordo com Hoyland e Rausand (2004), a qualidade significa conformidade do produto com relação à sua especificação, enquanto que a confiabilidade

está relacionada com a sua capacidade de executar uma função exigida, de acordo com sua especificação, durante determinado período de tempo.

Outros benefícios resultantes da aplicação da FMEA de projeto são elencados a seguir (STAMATIS, 2003; FORD FMEA HANDBOOK, 2004):

- Estabelece a ordem de precedência das ações de melhoria do projeto de acordo com os potenciais modos de falha e seus efeitos sobre o cliente;
- Contribui na identificação de atributos críticos;
- Auxilia na análise objetiva do projeto considerando requisitos funcionais e alternativas de projeto;
- Facilita a identificação e eliminação de falhas potenciais de segurança;
- Possibilita a identificação das falhas ainda na etapa de desenvolvimento do produto;
- Analisa o projeto inicial quanto aos requisitos de fabricação, montagem, serviços e requisitos de reciclagem;
- Fornece informações adicionais para o planejamento e desenvolvimento eficiente do projeto;
- Auxilia no direcionamento dos potenciais modos de falha ocasionados por deficiência de projeto;
- Aumenta a probabilidade de que os potenciais modos de falha e seus impactos na operação sejam analisados na fase de projeto/desenvolvimento.

2.2.8 Limitações e dificuldades de aplicação da FMEA

Schmidt *et al.* (2011) elencam alguns pontos que dificultam a aplicação do método:

- É bastante demorado e necessita de elevado envolvimento de mão de obra de engenharia e gestão;
- Na maioria das vezes os participantes não estão interessados em obter o melhor benefício, mas em concluir o evento de modo breve;
- Muitas vezes o FMEA não é realizado na fase inicial do projeto devido à falta de informações para preenchimento correto do formulário.

Outras limitações da técnica são elencadas por Laurenti e Rozenfeld (2009), e incluem dificuldades na análise de alterações, momento adequado para a realização da FMEA no processo de desenvolvimento de produto, integração técnica ao processo de projeto e reutilização das informações sobre as falhas de integração.

2.3 MÉTODO A3 PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

2.3.1 Origem e Definição

O A3 para a solução de problemas surgiu na década de 1960 e constitui uma ferramenta eficaz adotada pela *Toyota Motor Corporation* para a resolução de problemas, propostas, planos e status de modo estruturado (SHOOK, 2010).

Morgan e Liker (2008) definem o A3 como um método padrão de comunicação, estruturado em uma única folha de papel (Relatório A3), que tem por objetivo nortear a solução de problemas e facilitar a comunicação entre as diversas especialidades funcionais da organização.

Ferro (2009) relata que, para a Toyota, cada problema ou desafio vivenciado por uma organização (ou qualquer projeto que necessita ser implementado) deve ser capaz de ser registrado em uma única folha A3. Para o autor, os líderes e seu time devem detalhar, conforme os quadros que dividem a folha, o problema a ser enfrentado e como este será abordado (considerando as análises, planos de ação e ações corretivas). Desse modo, acredita-se que todos os envolvidos consigam enxergar o problema através da mesma lente: uma folha de papel A3 que, regida pelo poder de síntese e objetividade, evita dispersão da informação e relatórios extensos que ninguém lê.

De acordo com Shook (2009), o A3 atua como um mecanismo para gestores na análise da causa-raiz e pensamento científico, ao mesmo tempo em que alinha os interesses dos indivíduos e departamentos de toda a organização contribuindo para diálogos produtivos e ajudando as pessoas a aprenderem umas com as outras.

2.3.2 Tipos de Relatórios A3

Morgan e Liker (2008) classificam os relatórios A3 em quatro tipos:

- **História de Proposta:** Empregado para propor um plano ou uma nova ação, sempre envolvendo um tema. Requer três atributos para

aplicação: ter um plano objetivo, questões a serem solucionadas devidamente mapeadas e um cronograma.

- **História de Status:** Utilizado para determinar o *status* de uma ação em andamento e necessita de informação complementar (qual era a meta do projeto e como ele se encontra com relação ao objetivo, análise do planejado x realizado).

- **História Informacional:** Adotado para compartilhar informações referentes ao desenvolvimento de projeto. Esse tipo de relatório A3 não possui um formato padrão, e tanto a história quanto o *layout* ficam a critério do redator.

- **História de Solução de Problemas:** Usado quando há o descumprimento da organização em relação a procedimentos ou objetivos pré-estabelecidos. Para este tipo de relatório, é preciso existir um problema. A história precisa ter objetivos claros, informações sobre a atual situação, estudo criterioso e detalhado das causas raiz, contramedidas e a história de implementação. O monitoramento consiste em checar se as contramedidas atingiram o objetivo, necessidade de ações futuras e o aprendizado ao longo do processo.

Para este trabalho será considerado o formulário de história informacional.

2.3.3 As Sete Etapas do A3

Um relatório A3 é estruturado por sete etapas, conforme ilustra a Figura 2.8 (SHOOK, 2009; SOBEK II; JIMMERSON, 2004).

Etapla 1: Estabelecer o contexto da atividade, delimitando de modo objetivo o título do assunto e a importância específica do problema ou questão;

Etapla 2: Descrever a condição atual do problema, detalhando-a da melhor forma possível;

Etapla 3: Identificar os resultados específicos esperados;

Etapla 4: Analisar a situação para identificar a causa raiz;

Etapla 5: Propor as melhorias, também chamadas de contramedidas;

Etapla 6: Implementar o plano de ação descrevendo as ações adotadas, prazos e responsáveis;

Etapla 7: Realizar o acompanhamento das ações estabelecidas comparando o resultado esperado com o obtido.

Etapla A: Todos os A3s incluem a data e os nomes do autor e gerente. O valor do A3 com o gerente não pode ser subestimado. O

gerente possui uma ferramenta para orientar e estabelecer o alinhamento. Além disso, proporciona aos indivíduos os meios para sugerir respostas para os problemas existentes e obter a autorização necessária autorização para agir.

Figura 2.8 - Relatório A3

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 1 Evento / Ocorrência </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 2 Condição Atual </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 3 Metas/Objetivos </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 4 Análise da Causa Raiz </div> </div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 5px;"> <tr> <th style="width: 25%;">Data</th> <th style="width: 25%;">Autor</th> <th style="width: 25%;">Data</th> <th style="width: 25%;">Gerente</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 5 Contramedidas </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 6 Plano de Ação </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">O que</th> <th style="width: 33%;">Quem</th> <th style="width: 33%;">Quando</th> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 7 Acompanhamento </div> </div>	Data	Autor	Data	Gerente		A			O que	Quem	Quando			
Data	Autor	Data	Gerente												
	A														
O que	Quem	Quando													

Fonte: Adaptado de Shook, 2009

Sobek II e Jimmerson (2006), ao proporem um método de solução de problemas o mais próximo possível dos procedimentos de melhoria de processos utilizados na prática da Toyota, fundem as partes 6 e 7 supracitadas e adicionam as quatro partes a seguir ao novo modelo:

1. Criar consenso: o autor do relatório A3 encontra-se com os principais representantes das áreas envolvidas e apresenta o plano de implementação e acompanhamento das ações de melhoria e solicita *feedback*. Alterações podem ocorrer até que todos estejam em comum acordo.

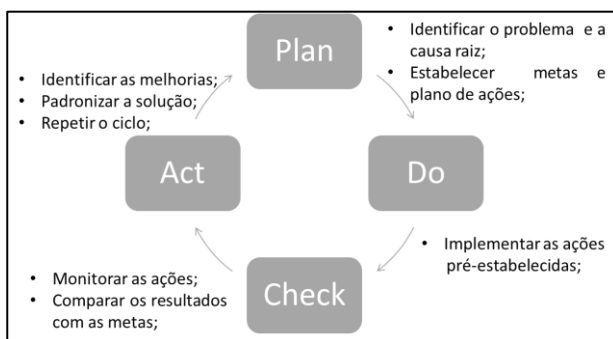
2. Obter aprovação: Para que a mudança proposta e o plano de implementação do solucionador de problemas esteja completo, este deve

buscar a aprovação do gerente departamental. A função da aprovação pelo gerente visa assegurar que o autor tem seguido sequencialmente o processo prescrito. O âmbito desse processo inclui a condição atual descrita por meio da observação e representação real dos processos de trabalhos adotados, todos os afetados foram envolvidos no processo e estão de acordo, há um plano de acompanhamento, e assim por diante.

3. Implementação: Após obter a aprovação, a implementação prossegue conforme planejado. Até este momento, o processo tem atuado com o “plano”, etapa do ciclo do PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Estes ciclos significam: PLANEJAR, EXECUTAR, VERIFICAR e ATUAR e estão ilustrados na Figura 2.9. Sem a implementação (etapa “fazer” do PDCA) todo o procedimento anterior torna-se nulo. O modelo do A3 representa os ciclos do PDCA (ZHU, 2012).

4. Acompanhamento: A última fase do ciclo é o de acompanhar a execução, ou seja, o “check” do PDCA. Por meio do acompanhamento pode-se evidenciar se o novo processo alcançou ou não os resultados esperados.

Figura 2.9 - Ciclo do PDCA



Fonte: Adaptado Sauvé *et al.* (2006)

Ainda de acordo com Sobek II e Jimmerson (2006), para que as organizações possam se transformar e melhorar, tanto mudanças cognitivas quanto comportamentais precisam ocorrer, e quatro ingredientes essenciais para precipitar essas mudanças estão presentes em cada passo do processo:

1. Desafiar objetivamente o nível atual de compreensão, isto é, através da observação direta e discussão dessas observações com outros

indivíduos, o desafio irá ratificar o entendimento atual ou gerar um novo entendimento;

2. Para que a probabilidade de recorrência de um problema seja reduzida, deve-se abordar as causas deste e não apenas os sintomas;

3. As alterações propostas devem ser avaliadas sob uma ótica sistêmica, ou seja, os participantes afetados pelas mudanças precisam ser envolvidos nas discussões, para que assim as alterações sejam analisadas de várias perspectivas. Essa abordagem contribui para o consenso e adesão dos indivíduos que serão convidados a trabalhar de forma diferente no futuro.

4. O sistema requer uma prestação de contas, contemplando quem vai fazer o que e quando irá fazer a mudança. Ao documentar-se o plano, estabelecendo nomes e prazos e aprovando-o junto à autoridade competente, torna-se mais provável que as ações sejam feitas.

2.3.4 Benefícios do método A3

Com relação aos benefícios obtidos com a utilização deste método destacam-se (SHOOK, 2009; SOBEK II; JIMMERSON, 2004):

- Documentação do estado atual por meio da observação direta;
- São necessários recursos simples como papel e lápis e não requer capacitação especializada, o que facilita a resolução dos problemas pelos indivíduos que vivenciam tais oportunidades de melhoria;
- Sua representação gráfica proporciona precisão e facilidade de compreensão aos envolvidos;
- Representa um enfoque completo para a solução de problemas, desde a identificação até a implementação.

Para Shook (2009), o objetivo final do A3 não se resume a resolver problemas, mas fazer o processo de resolução de problemas transparente e flexível de maneira que proporciona conhecimento e aprendizagem para a solução de problemas. Desta forma, o processo de gestão A3 personaliza a essência da aprendizagem operacional.

2.3.5 Aplicações do A3

Para Liker e Meier (2006) o A3 é parte integrante do processo de resolução de problemas e tomada de decisão. De acordo com os autores, o método permite que apenas as informações mais importantes sejam compartilhadas para que ocorra uma avaliação cuidadosa do processo de

pensamento utilizado e, assim, se chegar a um consenso. Nessa perspectiva, Zhu (2012) destaca que o conhecimento é criado durante a atividade de resolução de problemas quando o pensamento é processado, bem como o relatório A3 é uma maneira fácil para capturar o conhecimento e se comunicar com os outros.

Essas características do método A3 permitem sua aplicação em diversos segmentos da indústria. Por exemplo, Ghosh e Sobek II (2006) o adotaram para melhorar o processo de terapia de refeição em grupo em uma Unidade de Enfermagem de Reabilitação (RNU) de um hospital. Já Bassuk e Washington (2013) aplicaram o A3 em um viveiro animal para padronizar o registro de informações sobre animais doentes e controles em finais de semana e férias para a inspecção de saúde animal.

Saad *et al.* (2013) aplicaram o método A3 com foco na resolução de problemas no projeto de produtos (falhas na compatibilidade electromagnética (EMC), em um subconjunto elétrico automotivo). Para os autores, o principal benefício do método é criar e capturar conhecimento útil de forma simples.

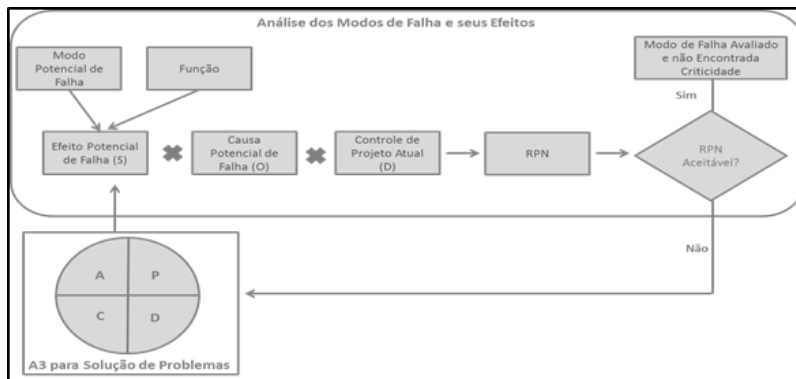
2.3.6 Método A3 combinado com a FMEA

O emprego de métodos conjuntos (associados) permite uma avaliação sistemática e padronizada das possíveis falhas, admitindo uma análise mais ampla da ocorrência da falha (HELMAN; ANDERY, 1995 e OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Nesse contexto, Lodgaard *et al.* (2011) apresentam um estudo de caso envolvendo a combinação da FMEA e do método A3 para solução de problemas. A pesquisa é aplicada em uma empresa de alta tecnologia que desenvolve e fabrica armas, mísseis e produtos de propulsão espacial e também atua na desmilitarização de munições. O método desenvolvido pelos autores vincula o uso do A3 para os problemas mais críticos detectados na FMEA, conforme ilustra a Figura 2.10. Inicialmente os autores trabalham a orientação sobre a FMEA e aplicação prática do método em dois novos produtos na empresa com o grupo de projetos (o mesmo grupo fora mantido para a análise nos dois produtos – total de nove reuniões em um período de quatro semanas). Na sequência, são registradas as dificuldades do grupo na aplicação prática da técnica. Para suprir as lacunas da FMEA, o segundo passo foi realizar um seminário tanto para os pesquisadores externos quanto para o grupo de projeto para apresentar o A3, experimentando-o em situações

da vida real de trabalho de resolução de problemas para demonstrar a utilidade prática da ferramenta, garantir linguagem comum e apontar as melhorias. Depois de vencer a fase de resistência do grupo de projetos, a resolução de problemas utilizando o A3 seguiu como um documento de vida nas reuniões de projeto. Ao se estabelecer o NPR na FMEA, as prioridades eram evidenciadas e o A3 aplicado para encontrar a causa raiz. A solução encontrada por meio do método A3 é utilizada como *feedback* para o FMEA.

Figura 2.10 - Fluxo quando se combina FMEA com A3



Fonte: Adaptado de Lodgaard *et al.* (2011).

Outro estudo de caso que compreende a combinação entre a documentação de falhas (FMEA) e o relatório A3 para melhorar a qualidade no projeto do produto é apresentado por Zhu (2012). A pesquisa de Zhu (2012) é realizada em um fornecedor automotivo no qual as falhas nos testes de compatibilidade eletromagnética (EMC) resultam em custos elevados de recursos. O objetivo então consiste identificar um método para reduzir as falhas de projeto e reutilizar o conhecimento adquirido nas análises anteriores. O método apresentado pela autora identifica as similaridades existentes entre os elementos que compõem a FMEA e o A3, conforme ilustra a Tabela 2.2

Tabela 2.2 - Inter-relação entre FMEA e Relatório A3

Ferramentas	Elementos						
	1	2	3	4	5	6	7
FMEA	Função / Requisito	Modo Potencial de Falha	Efeito Potencial da Falha	Causa Potencial da Falha	Ações Recomendadas	Responsável e Data de Término	Resultado das Ações
Relatório A3	Evento/Ocorrência	Condição Atual	Identificar resultados esperados	Identificar a causa raiz	Propor as contramedidas	Implementar os planos de ação	Acompanhar as ações estabelecidas

Fonte: Adaptado Zhu (2012)

De acordo com a autora, o conteúdo de 'Função/Requisito', 'Modo de Falha' e 'Efeito da Falha' na FMEA e os elementos de 'Evento/Ocorrência' e 'Condição Atual' do A3 abrangem igualmente as informações de 'Onde está a falha?', 'Qual é a falha?', e 'Qual é o efeito?'. Isso significa que, ao usar FMEA para identificar um novo problema, a 'Função/Requisito', 'Modo de Falha' e 'Efeito da Falha' são analisadas. Estas informações poderiam ser transferidas para o 'Evento/Ocorrência' e 'Condição Atual' quando usado o modelo do A3 para ajudar a resolver o problema sem realizar a mesma análise sobre a falha de novo. Relação semelhante também ocorre entre 'Ação Recomendada' e 'Contramedidas', 'Responsável/Data de Término' e 'Plano de Implementação'. Com relação à reutilização do conhecimento, a autora adota o modelo “*To-Be Knowledge*” de Maksimovic (2011), ilustrado na Figura 2.11.

O modelo compõe-se de uma estrutura em seis etapas:

1. Projeto Conceitual e Projeto Detalhado: No desenvolvimento de um novo produto, de acordo com as exigências vindas do cliente ou da pesquisa de mercado, os engenheiros desenvolvem os projetos conceitual e detalhado e produzem um protótipo físico.

2. Teste de EMC: O protótipo passa por testes EMC necessários para avaliar a sua compatibilidade eletromagnética. Se passar no teste (2.a), o modelo do produto será liberado para produção. A configuração do protótipo será documentada, se necessário, uma vez que é susceptível de passar o teste de EMC. Se falhar no teste (2.b), ele será rejeitado.

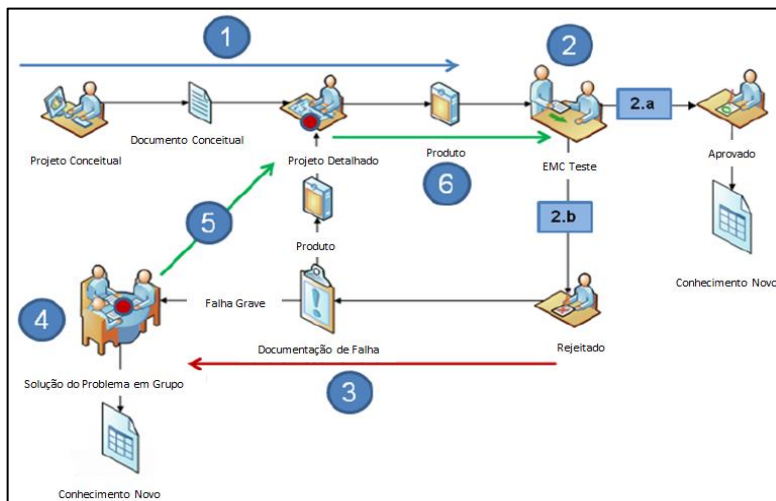
3. Documentação de Falha baseada em FMEA: A falha no teste EMC será registrada em Documentação Falha baseada em FMEA. O engenheiro responsável será informado, e montará um time, se necessário, para se preparar para resolver a falha.

4. Solução de Problemas Utilizando Abordagem do A3: O engenheiro utilizará o método do A3 para resolver a falha.

5. Implementação da Solução: Como a solução prática é gerada na abordagem do A3, será estabelecido um plano para atribuir tarefas e implementar essas soluções.

6. Confirmação do efeito da Solução: Re-testar o produto quando as soluções são implementadas, para validar a eficácia das soluções. Se falhar novamente, repetir a etapa 3 até encontrar as soluções certas que ajudarão o produto passar no teste.

Figura 2.11 - Cenário *To-Be*: Capturando o Conhecimento Dinâmico



Fonte: Adaptado Maksimovic (2011) *apud* Zhu (2012)

Assim, cada falha é registrada em um relatório A3 com soluções práticas, que é o conhecimento que será transferido para as regras e perguntas com classificação. Após a implementação da Documentação Falha e A3 durante um longo prazo, uma série de falhas serão resolvidas, um conjunto de conhecimentos com perguntas da lista de verificação serão gerados, uma lista de verificação com estas questões será fornecida aos engenheiros de projeto da EMC. Quando um novo projeto surge, este acervo irá ajudar os engenheiros a evitar a repetição da mesma falha, e melhorar a qualidade.

Em virtude das limitações da FMEA, os autores de ambos os estudos consideram que o método sozinho não é suficiente para um processo eficaz de análise de falhas potenciais. Porém, quando

combinado com o método A3, resultados melhores e mais completos foram identificados. Isso porque o método A3 incentiva a busca pela melhoria contínua e está associado à reutilização do conhecimento dinâmico gerado em situações estudadas anteriormente.

Observa-se que ambas as abordagens trazem como fator resultante a geração de documentos distintos para registro da análise de falhas em mesmo projeto: o documento da FMEA e o relatório do método A3. Fator este que pode fragilizar a manutenção da rotina de uso dos métodos, uma vez que as interfaces dos documentos para a análise das falhas são diferenciadas. Além disso, dependendo da quantidade de falhas apresentadas, são gerados vários documentos avulsos (um relatório A3 para cada falha), o que não permite o agrupamento do histórico das contramedidas aplicadas de modo a tornar prática a consulta e também o acompanhamento das ações. Observa-se também que as abordagens consideram na FMEA o NPR, uma das limitações da ferramenta destacadas na literatura.

Tendo em vista os dois estudos apresentados, esta pesquisa também considera a combinação entre os métodos A3 e FMEA para a análise de falhas, diferenciando-se em alguns aspectos, a citar:

- O desenvolvimento de um documento padrão em formato A3, fundindo os dois métodos para a análise de falhas na fase de projetos.
- Para as falhas identificadas nas fases de montagem mecânica e testes, pequenas adaptações serão consideradas no documento padrão a fim de favorecer a familiarização dos indivíduos.
- Em um mesmo relatório, várias ocorrências poderão ser registradas minimizando a quantidade documentos avulsos.

Em linhas gerais, este capítulo apresentou a revisão bibliográfica contemplando os temas de relevância para esta pesquisa. A estruturação do capítulo foi organizada em três subseções principais: desenvolvimento de produtos, FMEA e método A3 para solução de problemas. Os Capítulos 3 e 4 apresentados na sequência abordarão a metodologia adotada e o estudo de caso respectivamente.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa se desenvolve em uma empresa (denominada Empresa X) que atua no desenvolvimento de equipamentos para automação industrial. Um maior detalhamento dos procedimentos de projeto e manufatura de produtos efetuados pela empresa será descrito no Capítulo 4, nas seções 4.3 e 4.4.

De acordo com Silva e Menezes (2005), o papel da metodologia é guiar o pesquisador durante o estudo e auxiliar na reflexão estimulando o senso de investigação, a curiosidade e a criatividade.

Para obter o embasamento teórico sobre os temas abordados na pesquisa foi realizada a revisão bibliográfica. Conforme Gil (2002), o levantamento bibliográfico tem por finalidade elucidar informações teóricas de forma a apresentar uma visão global sobre o tema abordado.

Nesse contexto, buscou-se também pela classificação da pesquisa que, caracteriza-se pelo formato de pesquisa-ação.

A pesquisa-ação é uma pesquisa participante engajada, oposta à pesquisa tradicional, que é considerada como “independente”, “não-reativa” e “objetiva”. Este tipo de pesquisa se originou da necessidade de suplantar a lacuna entre teoria e prática (ENGEL, 2000). Caracteriza-se como um tipo de pesquisa social de base empírica, concretizada em estreita combinação com uma ação ou resolução de um problema coletivo no qual tanto os pesquisadores quanto os participantes, estão envolvidos de modo participativo e cooperativo (FRANCO, 2005; THIOLLENT, 1986).

A pesquisa considera a análise do ponto de vista exploratório, explanatório, descritivo, e de abordagem quali-quantitativa, ou seja, compreende tanto indicadores numéricos quanto uma análise qualitativa do processo em estudo.

3.1 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Esta seção apresenta o modo como o estudo foi estruturado. Divide-se em três partes principais: Formulação do problema e delimitação do escopo da pesquisa; Estrutura do método e; Definição das amostras, respectivamente.

3.1.1 Formulação do problema e delimitação do escopo da pesquisa

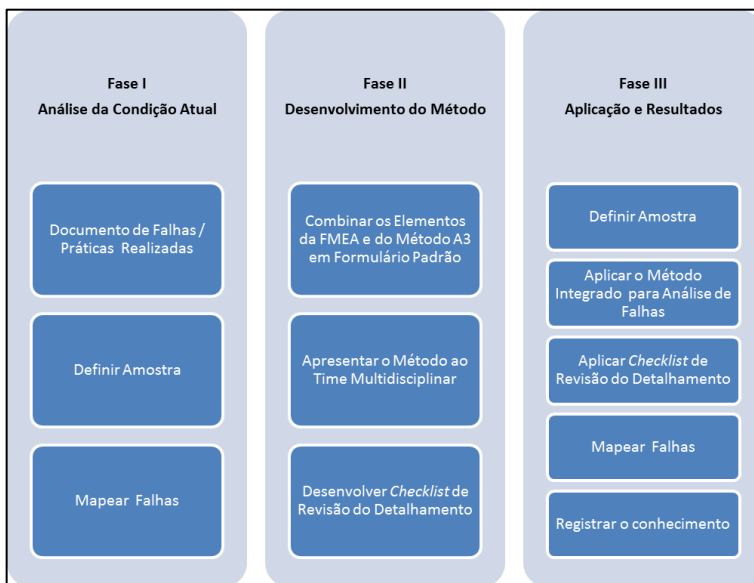
A fase inicial da pesquisa compreende o levantamento bibliográfico referente aos temas que compõem a base deste estudo: Desenvolvimento de Produto, FMEA e A3, cujo objetivo consiste em identificar os estudos desenvolvidos até o momento sobre os temas abordados e selecionar o material bibliográfico para a pesquisa.

Considerando a preocupação das empresas em melhorar os processos para se manterem no patamar da competitividade no mercado, o objetivo desta pesquisa, conforme descrito no Capítulo 1, consiste em desenvolver um método para a análise de falhas, visando reaproveitar o conhecimento gerado em situações futuras e minimizar os impactos decorrentes de falhas de projeto ainda na fase de desenvolvimento.

3.1.2 Estrutura do Método

Com o objetivo de estruturar as etapas de implementação do método para análise de falhas, foi desenvolvida a estrutura ilustrada pela Figura 3.1.

Figura 3.1 - Estrutura de Implementação



Fonte: a autora, 2015

Fase I: Análise da Condição Atual

Nesta fase serão analisados os documentos e práticas da empresa colaboradora no processo de na análise de falhas. Além disso, também serão estabelecidos os projetos que irão compor a amostra para o mapeamento de falhas.

Para a atividade de mapeamento das falhas, serão considerados os seguintes procedimentos:

- Abordagem explicativa sobre o início do trabalho de mapeamento de falhas junto ao profissional de montagem mecânica (após ter sido explicado o objetivo da pesquisa e a importância da colaboração do profissional de montagem para a confiabilidade das informações);
- Elaboração de planilha para registro das falhas e estabelecimento de rotina na coleta dos dados;
- Estabelecimento de rotina para registro das informações – monitoramento diário.

O registro das falhas é realizado *in loco* pela pesquisadora em conjunto com o montador durante todo o período da montagem. Para assegurar a confiabilidade das informações, o montador é orientado a imprimir o desenho e destacar a falha com caneta ou lápis. O passo seguinte consiste em registrar o número do desenho, a falha e o número de peças a serem retrabalhadas. A Tabela 3.1 ilustra a planilha adotada para o registro das falhas.

Tabela 3.1 - Planilha para mapeamento de falhas

AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO

Fonte: a autora, 2015

Na primeira coluna, da esquerda para a direita, é informada a identificação da amostra (Amostra A, Amostra B, Amostra C); na segunda coluna o número do desenho; a terceira coluna relaciona a quantidade de peças correspondentes ao respectivo desenho (que; consequentemente é o mesmo número de peças que apresentaram falhas); a quarta coluna informa a data da coleta; a quinta coluna a fase de origem da falha (Conceito, Modelamento e Detalhamento) e, por fim a sexta coluna apresenta a descrição da falha.

Para fins desta pesquisa serão adotadas as definições para cada fase, conforme compreensão da engenharia de projeto mecânico da empresa colaboradora:

Conceito: Ocorrências relacionadas a peças fabricadas e/ou componentes comerciais que, em virtude de alguma característica técnica ou construtiva, não prevista inicialmente, não possibilita a montagem e/ou o funcionamento do equipamento dentro dos parâmetros esperados.

Modelamento: Ocorrências relacionadas à modelagem das peças para possibilitar a montagem do equipamento.

Detalhamento: Ocorrências relacionadas a interferências, cotas e tolerâncias, incompatibilidade entre furos e roscas, forma construtiva, material aplicado, rugosidade especificada.

Fase II: Desenvolvimento do Método

O método da Combinação FMEA e o método A3 foi elaborado considerando como base o conceito apresentado por Zhu (2012), que aborda a similaridade entre os elementos dos dois métodos para evidenciar a possibilidade de associação entre ambas. A diferença entre o método desenvolvido por Zhu (2012) e o desta pesquisa reside no fato de que Zhu (2012) adota o A3 em complemento à FMEA. Neste estudo propõe-se a fusão entre os elementos do A3 e da FMEA em um único documento.

Para o desenvolvimento do formulário padrão foi considerado o relatório A3 do tipo história informacional conforme classificação de Morgan e Liker (2008) descrita na seção 2.3.2, e o formato estrutural da FMEA apresentado por Sakurada (2011), apresentado na subseção 2.2.2 e ilustrado pela Figura 2.6. A Tabela 3.2 apresenta a relação entre os elementos da FMEA contemplados no formulário da FMEA explanados por Sakurada (2011) e também os elementos adicionais relacionados ao modelo desenvolvido para o A3.

O modelo não contempla o elemento NPR, pois considera que todas as ocorrências registradas no relatório precisam ser solucionadas.

Uma vez elaborado o formato de captação das informações na reunião de análise de falhas, a próxima etapa consiste em apresentar o método ao time multidisciplinar em uma abordagem de sensibilização, a fim de despertar o interesse para a adesão da prática.

Tabela 3.2 - Elementos do documento A3 e a relação com a FMEA

Campo	Elementos do A3	Relação com os Elementos da FMEA
1	Projeto	Equivalente ao elemento do campo 1 no formulário da FMEA
2	Fase	Elemento desenvolvido especificamente para o A3
3	Descrição	Campo adicional. Também pode ser considerado um complemento do item 1
4	Presenças	Equivalente ao elemento do campo 2 no formulário da FMEA
5 e 6	Data Revisão I e II / Responsável	Equivalente ao elemento do campo 3 no formulário da FMEA, diferenciando-se por requerer um responsável explícito para a revisão da alteração
7	Item analisado	Equivalente ao elemento do campo 4 no formulário da FMEA
8	Descrição da Falha	Equivalente ao elemento do campo 6 no formulário da FMEA
9	Causa Raiz	Equivalente ao elemento do campo 9 no formulário da FMEA
10	Contramedida	Equivalente ao elemento do campo 10 no formulário da FMEA
11	Resultado Esperado	Elemento desenvolvido especificamente para o A3
12	Responsável / Área	Equivalente ao elemento do campo 11 no formulário da FMEA , diferenciando-se pela inclusão da área de atuação do(s) indivíduo(s)
13	Prazo	Equivalente ao elemento do campo 11 no formulário da FMEA, diferenciando-se por estar em um campo individualizado no documento
14	Status	Elemento desenvolvido especificamente para o A3
15	Grupos	Elemento desenvolvido especificamente para o A3
16	Observações	Equivalente ao elemento do campo 8 no formulário da FMEA, diferenciando-se por não ser representado por índices numéricos e sim por descrições específicas quando necessário

Fonte: a autora, 2015

Pelo método do relatório A3 não é possível corrigir as falhas de detalhamento. Como complemento ao método de análise de falhas, foi desenvolvido um *checklist* de revisão do detalhamento, ilustrado pela Figura 3.2.

O detalhamento, conforme Pahl *et al* (2005), é a fase do projeto em que é efetuada a configuração do produto técnico na forma definitiva da microgeometria, ou seja, são definidos em detalhes o dimensionamento e acabamento superficial de todas as peças, as operações de fabricação, os materiais utilizados e a verificação dos custos. Ainda conforme os autores, o ponto chave da fase de detalhamento é a preparação da documentação para a produção.

Desse modo, minimizar a possibilidade de falhas que a documentação pode apresentar antes da liberação para a produção torna-se necessária para prevenir retrabalhos e incidência de custos adicionais ao projeto. Nesse contexto, a aplicação do *checklist* de revisão tem como finalidade ser adotado como último procedimento antes da liberação para a produção.

Figura 3.2 - Itens do *Checklist* de Revisão do Detalhamento

1. Interferência: Analisar se existe interferência de montagem entre as peças (análise peça-a-peça no <i>software CAD</i>)	
2. Cotas e Tolerâncias: Avaliar se as cotas e tolerâncias das peças estão adequadas em relação à função desempenhada pelo dispositivo.	
3. Incompatibilidade entre Furos e Roscas: Analisar visualmente a compatibilidade entre bitola da furação e passo da rosca.	
4. Formas Construtivas: Analisar a facilidade e custo de fabricação.	
5. Material Aplicado: Avaliar a necessidade da aplicação e, com base neste parâmetro, identificar se o material está adequado para a robustez do sistema, isto é, constituição física resistente.	
6. Rugosidade: Analisar se o acabamento da usinagem especificado no desenho está coerente com a necessidade do projeto.	

Fonte: a autora, 2015

Fase III: Aplicação do Método e Resultados

Esta última fase compreende seis eventos. O primeiro abrange a definição da amostra para implementar o método, enquanto o segundo evento faz referência à aplicação do método assim que finalizado o modelamento.

O terceiro evento compreende a aplicação do *checklist* de revisão do detalhamento. A configuração dos itens de verificação foi definida com o envolvimento do líder da área de projeto mecânico. A Figura 3.2 ilustra os itens a serem contemplados na revisão.

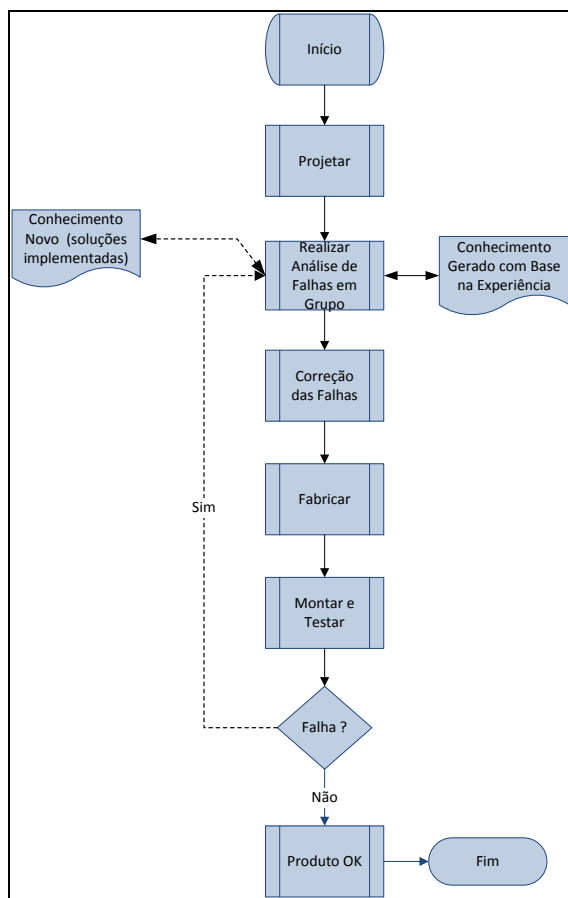
O quarto evento envolve o mapeamento e registro, *in loco*, das falhas identificadas na fase de montagem mecânica após a aplicação do método para análise de falhas e do *checklist* de revisão do detalhamento. A metodologia adotada no mapeamento dos retrabalhos é a mesma da Fase I.

O quinto evento compreende a identificação de ocorrências de falhas de conceito mecânico abrangendo as fases de montagem e integração e testes. A correção destas falhas utilizará o método A3 de análise de falhas, conforme ilustra a o fluxo da Figura 3.3.

Por fim, o sexto evento compreende a análise das falhas com registro no documento A3 adaptado para as ocorrências nas fases de montagem e testes, gerando assim o histórico do conhecimento.

Desse modo, o histórico das falhas e ações adotadas para correção é alimentado continuamente durante o período de montagem e testes e enriquecido pelo registro das tentativas de sucesso e insucesso, representado pela linha tracejada. Estes dados atuarão como fonte de conhecimento novo para favorecer ações preventivas visando minimizar a ocorrência de falhas conceituais em projetos futuros com características similares.

Figura 3.3 - Fluxograma do Conhecimento Gerado



Fonte: a autora, 2015

3.1.3 Definição das Amostras

Em virtude das variáveis: duração dos projetos desenvolvidos pela empresa colaboradora e período destinado para a pesquisa, será considerada uma amostra total de seis projetos. Destes, três irão compor os estudos na Fase I e três para as Fases II e III.

O critério de escolha da amostra na Fase I considera os projetos em fase inicial da montagem mecânica. Já para as Fases II e III são os projetos que estiverem disponíveis para a análise de falhas.

Sendo assim, não houve pré-seleção para avaliar questões relacionadas à complexidade e porte (pequeno, médio e grande) dos projetos que compõem o conjunto amostral.

4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA X

A Empresa X foi fundada em 1996, na região norte do estado de Santa Catarina e atua no setor de automação industrial. Com raízes na área de sistemas industriais de visão, a empresa expandiu para o desenvolvimento de sistemas de rastreabilidade, máquinas de inspeção, linhas de montagem e soluções em robótica.

Desde a sua fundação já desenvolveu projetos nos segmentos das indústrias farmacêutica, de cosméticos, automotiva, de alimentos e bebidas, plásticos e embalagens. Atualmente, conta com um quadro multidisciplinar de aproximadamente 100 profissionais, com competências nos diversos ramos da engenharia.

A estratégia de produção adotada é *Engineering to Order* (Engenharia sob Encomenda), com produtos personalizados para atender à necessidade de cada cliente.

4.2 FASE I – PRÁTICAS ATUAIS DA EMPRESA X

O projeto de um equipamento inicia após o recebimento do pedido do cliente. O coordenador responsável promove a reunião de abertura do projeto com a engenharia para apresentar o escopo de fornecimento e as expectativas do cliente considerando como referência a proposta comercial. Essa apresentação é realizada pelo vendedor e participam os líderes das áreas técnicas (Mecânica, Elétrica e Programação). Após esse evento é agendada a visita técnica no cliente, são solicitadas as amostras do produto e validado o cronograma do projeto por cada uma das áreas. A Figura 4.1 apresenta as quatro fases macro que compreendem o processo de desenvolvimento do produto na linha do tempo, extraídas do cronograma padrão da Empresa X.

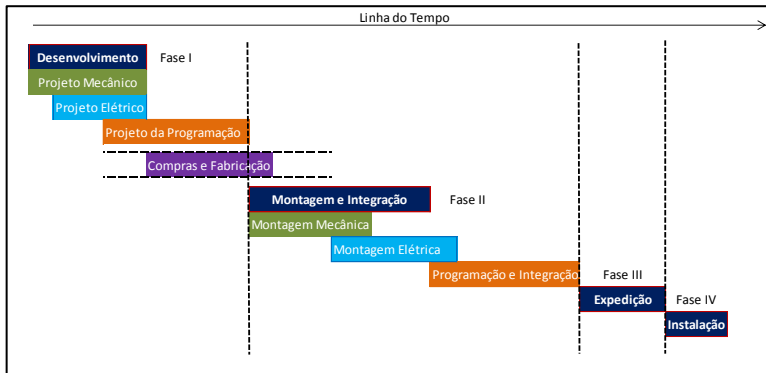
A Fase I (Desenvolvimento) compreende as atividades do projeto mecânico, projeto elétrico e o projeto *off-line* da programação. Entre as fases de Desenvolvimento e Montagem e Integração, são efetuadas as compras de componentes comerciais e a fabricação de peças (processo terceirizado).

A Fase II (Montagem e Integração) abrange a montagem mecânica, montagem elétrica, programação e integração (*start up* e testes).

A Fase III (Expedição) corresponde ao embarque do equipamento para o cliente.

Por fim, a Fase IV (Instalação) compreende as atividades de instalação física e validação do equipamento na planta do cliente.

Figura 4.1 - Fases do Processo de Desenvolvimento do Produto



Fonte: Adaptado do Cronograma da Empresa X

Observando a Figura 4.1, evidencia-se tanto na fase de desenvolvimento quanto na fase de montagem e integração, o envolvimento paralelo entre as áreas, característica da engenharia simultânea que favorece a troca de informações com menor impacto em tempo e custos para modificações, quando necessário. O prazo de entrega, desde o desenvolvimento até a expedição, varia em função da complexidade e tecnologias envolvidas, podendo oscilar entre 60 a 270 dias.

Com base no escopo da pesquisa, as atividades de projeto mecânico e montagem mecânica serão abordadas com mais detalhes.

A atividade de projeto mecânico compreende as seguintes etapas:

1. Anteprojeto e *layout*: abrange a elaboração do fluxo do processo, distribuição do(s) equipamento(s), funcionalidades e postos;
2. Modelamento em *software* de CAD (*Computer Aided Design*) 3D: compreende a forma construtiva do equipamento contendo todos os componentes, dispositivos e dimensões;

3. Apresentação e análise do projeto ao time multidisciplinar: nesta etapa são analisadas as possíveis falhas do equipamento;
4. Correções: abrange as modificações em decorrência da etapa anterior.
5. Apresentação do Modelamento em 3D para o cliente: visa obter a aprovação do projeto mecânico. Caso o cliente solicite modificações que exerçam impactos para as demais áreas da engenharia, uma nova reunião para apresentação das alterações e identificação dos impactos é realizada pelo time;
6. Detalhamento em 2D: é a etapa em que ocorre a inserção de informações relacionadas às características das peças a serem fabricadas (cortes, tolerâncias, cotas, legendas, rugosidade, processo de fabricação, entre outros);
7. Liberação da Lista de Materiais (*Bill of Materials* - BOM): A lista de desenhos e de componentes é liberada para a fabricação e compras.

Já a montagem mecânica compreende as etapas de montagem física das peças e componentes conforme o projeto e ajustes mecânicos.

4.2.1 Documento de falhas

O procedimento adotado pelo time técnico multidisciplinar para identificar possíveis falhas ainda na fase de projeto consiste em reunir o grupo para analisar o projeto mecânico antes da fase de detalhamento. A análise, identificada internamente como “FMEA”, é qualitativa e se caracteriza pela apresentação das principais partes do projeto em *software* de CAD 3D. A apresentação ao time (projetista elétrico, programador, montador eletricitista, montador mecânico, coordenador e eventualmente o vendedor) é realizada pelo projetista mecânico ao time. A apresentação não possui um padrão, ficando a cargo do projetista a condução do evento. A duração da reunião é variável não ultrapassando 4,5 horas. Durante a apresentação do equipamento, os participantes interagem sugerindo e/ou solicitando alterações e esclarecendo dúvidas dos pontos que consideram propensos a falhas de funcionamento e operação. As questões abordadas na reunião são registradas em ata para as providências resultantes da discussão. O documento é armazenado na pasta eletrônica do projeto para servir como histórico e também enviado por e-mail aos participantes pelo coordenador. A Figura 4.2 ilustra um trecho da ata resultante da “FMEA”.

Analisando o documento evidenciam-se alguns pontos de fragilidade no procedimento:

- Desbalanceamento de participantes, isto é, há quatro montadores mecânicos e nenhum programador presente;
- Não se evidencia uma abordagem direcionada a identificar e prevenir possíveis falhas, mas sim um *checklist* de pendências;
- Não há menção de prazos e identificação do(s) responsável(is) pelas ações a serem implementadas, conforme prevê a FMEA.

Figura 4.2 - Ata Análise de Falhas

Ata Reunião	
Projeto : [REDACTED]	
Assunto: FMEA	
Data da Reunião: 07/08/2013	Local: [REDACTED]
PRESENTES	
[REDACTED] - Projeto Mecânico	[REDACTED] - Montagem Elétrica
[REDACTED] - Projeto Mecânico	[REDACTED] - Montagem Mecânica
[REDACTED] - Coordenador	[REDACTED] - Montagem Mecânica
[REDACTED] - Projeto Elétrico	[REDACTED] - Montagem Mecânica
[REDACTED] - Líder Montagem	[REDACTED] - Montagem Mecânica
Tópicos Abordados	
<p>Geral</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ficou definido que os berços das peças ficarão com o dimensional um pouco maior que o tampo da mesa e a espessura da mesma será ajustada durante a montagem (em definição); • Pendente cortina de luz e bi-manual na posição de operação; • Incluir no layout painel elétrico, unidade hidráulica, controlador do laser e exaustor e verificar o espaço disponível junto a [REDACTED]; • Pendente placa pneumática; • Finalizar fechamento incluindo portas de acesso e chaves de segurança; • Pendente fechamento para o alimentador vibratório; • Pendente avaliação da passagem de cabos, incluindo rasgos e furações na estrutura; <p>Montagem do Eixo com o Arraste</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendente monitoramento de presença de peça no posto de montagem do eixo e arraste. Será utilizado um sensor ótico para eixo e outro para arraste. • Pendente a inserção do Checker de verificação da graxa no posto; <p>Dispositivo de Alimentação da Arruela</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendente sensor para verificação do nível do buffer. Utilizar indutivo M8; • Pendente sensor presença de arruela no fatiador. Utilizar modelo ótico; • Ficou definido que para a verificação da montagem da arruela, será incluído um sensor ótico na garra de três pontos. Além disso, se por algum motivo a peça passar sem arruela ou com duas, o posto de prensagem conseguirá fazer a detecção através da janela de prensagem; • Pendente inserção das esteiras porta-cabos na movimentação do conjunto; <p>Dispositivo de Montagem da Capa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendente sensor capa na saída do alimentador vibratório. Utilizar modelo indutivo M8; • Ficou definido que para a verificação da montagem da capa, será incluído um sensor ótico na garra de três pontos; • ...; 	

Fonte: Empresa X

Uma vez realizada a “FMEA”, as próximas etapas envolvem as correções, apresentação do modelamento 3D para o cliente, possíveis

alterações e correções, o detalhamento e, por fim, a liberação da BOM para que sejam iniciadas as compras.

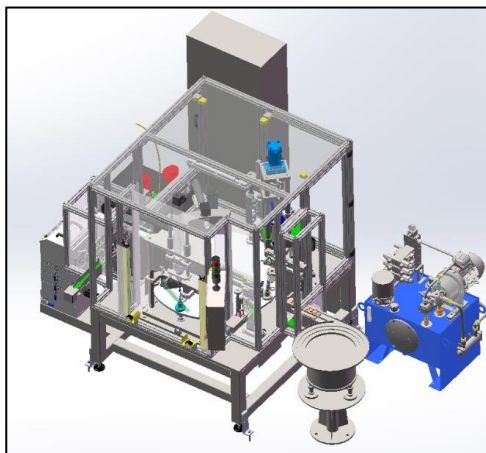
A montagem mecânica inicia quando aproximadamente 95% das peças fabricadas e itens comerciais estão disponíveis, e é nesta etapa que as ocorrências relacionadas a retrabalhos e falhas ficam evidentes. Em virtude da ausência de controle, não é possível quantificar estas ocorrências. Para mensurá-las, uma amostra de três projetos, em fase inicial de montagem mecânica, foi mapeada pela pesquisadora em conjunto com os profissionais de montagem mecânica.

4.2.2 Apresentação das amostras mapeadas

Os projetos são identificados na Empresa X pelo número do centro de custo (CC). Neste estudo este número será substituído pelas letras “A”, “B” e “C”. A seguir é apresentada uma descrição resumida de cada uma das amostras analisadas.

- **Amostra A:** Corresponde a um equipamento desenvolvido para montagem e teste do conjunto impulsor. A estação possui oito posições para executar as operações de montagem do conjunto eixo e arraste, montagem e inspeção de presença de arruela e capa, prensagem da capa, verificação do torque do impulsor, inspeção da presença e ausência da gravação e classificação (aprovado ou reprovado). A Figura 4.3 ilustra a estação desenvolvida.

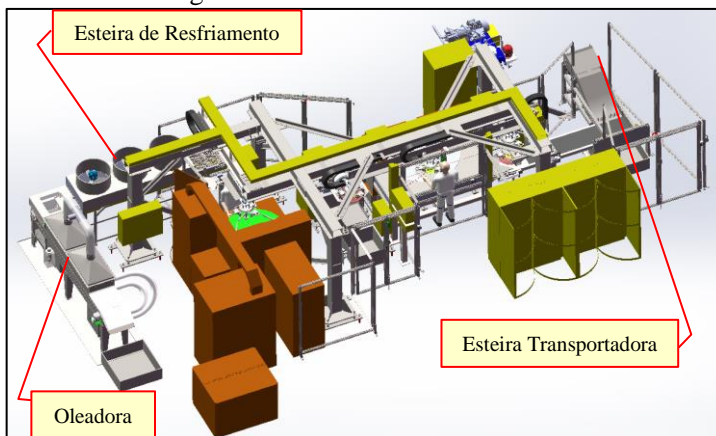
Figura 4.3 - Estação de Montagem e Teste do Impulsor



Fonte: Empresa X

• **Amostra B:** Refere-se a uma linha desenvolvida para automatizar a medição, têmpera por indução e oleamento de mola membrana. A linha compreende esteiras transportadoras do produto, manipulador, *transfer*, flexionadora de medição, dispositivo de giro e rejeito, esteira de resfriamento (rejeito) e oleadora. A Figura 4.4 apresenta a visão geral do equipamento.

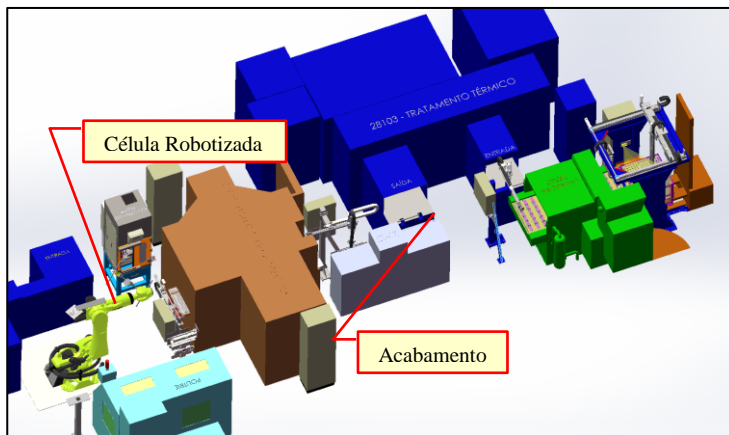
Figura 4.4 - Linha Mola Membrana



Fonte: Empresa X

• **Amostra C:** Equipamento desenvolvido para automação do processo de fabricação de cremalheiras. O sistema compreende uma célula robotizada de brochamento e uma linha de acabamento. O robô é o responsável pela transferência das cremalheiras entre os processos operacionais, enquanto a linha de acabamento abrange a automação para carga e descarga automática das cremalheiras em lavadora, tratamento térmico, endireitadora, rebarbadora, politriz e retíficas. A Figura 4.5 mostra uma visão geral da célula robotizada e da linha de acabamento.

Figura 4.5 - Células Robotizada e de Acabamento



Fonte: Empresa X

4.2.3 Mapeamento dos retrabalhos

Para possibilitar a análise quantitativa dos retrabalhos na fase de montagem mecânica, em relação ao total de peças fabricadas, foram levantadas a quantidade total de desenhos mecânicos do projeto e a quantidade total de peças fabricadas correspondentes para cada amostra. A Tabela 4.1 relaciona a quantidade de desenhos mecânicos e peças. Vale destacar que a quantidade de peças difere da quantidade de desenhos porque um mesmo desenho pode corresponder a uma ou mais peças.

Tabela 4.1 - Relação de desenhos x peças fabricadas por amostra

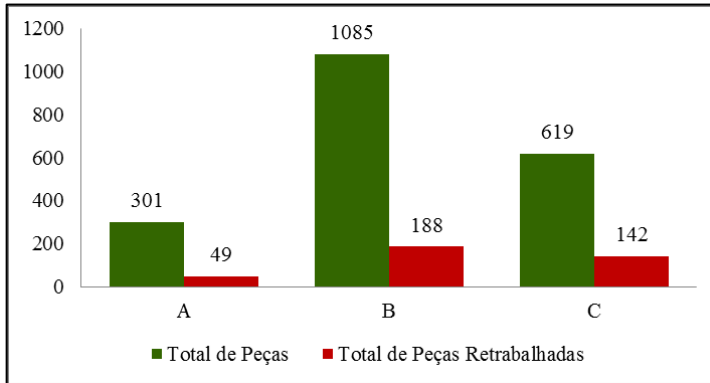
Amostra	Total de Desenhos Mecânicos	Total de Peças
A	206	301
B	391	1085
C	301	619

Fonte: Lista de Processo da Empresa X

A partir dos dados da Tabela 4.1 e do mapeamento dos retrabalhos apresentados no Apêndice A, pode-se quantificar os retrabalhos em relação ao total das peças para cada uma das amostras. A

Figura 4.6 apresenta o total de peças fabricadas e o total de peças retrabalhadas para cada uma das amostras.

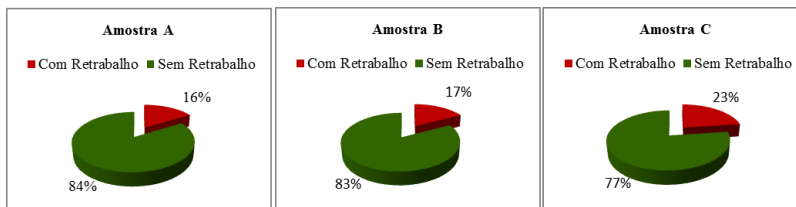
Figura 4.6 - Total de Peças x Total de Peças Retrabalhadas



Fonte: a autora, 2015

Os retrabalhos também são expressos em percentual, conforme mostrado na Figura 4.7.

Figura 4.7 - Percentual de Retrabalhos por Amostra

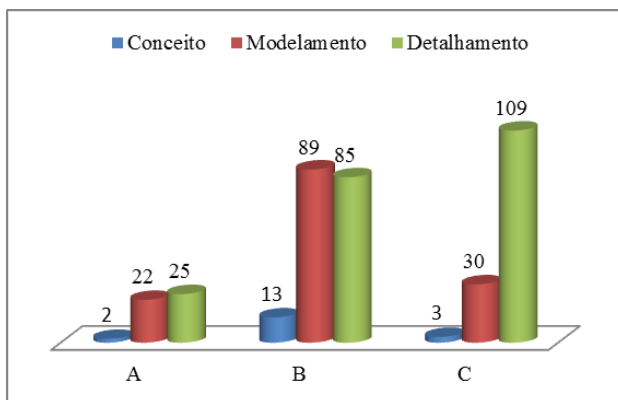


Fonte: a autora, 2015

Conforme a Figura 4.7, o número de peças retrabalhadas pode variar entre 16% e 23% do total de peças do projeto. Para identificar quais etapas da fase de desenvolvimento exercem influência nos retrabalhos, de acordo com a característica da ocorrência, estas foram classificadas como falha de conceito, de modelamento e de detalhamento. A Figura 4.8 ilustra o total de peças não conformes para cada uma das três fases.

Observando o gráfico da Figura 4.8, evidencia-se que o maior número de ocorrências de falhas está relacionado às fases de detalhamento e modelamento do projeto mecânico, respectivamente. Nas Amostras A e B os retrabalhos com origem no detalhamento correspondem a aproximadamente 50% das peças retrabalhadas. Já na Amostra C esse percentual é superior a 70%.

Figura 4.8 - Número de Peças Retrabalhadas por Tipo de Ocorrência



Fonte: a autora, 2015

A recorrência de falha em um mesmo desenho também foi um fator observado. No caso da amostra B foram identificados nove desenhos, correspondentes a dezoito peças, com duas ocorrências de retrabalho, e um desenho, correspondente a quatro peças, com três ocorrências. Já na amostra C foram identificados seis desenhos correspondentes a vinte e três peças, com duas ocorrências de retrabalho cada. Na amostra A não foram identificados desenhos com mais de uma ocorrência de retrabalho. Em alguns dos casos as falhas foram identificadas ao mesmo tempo (no mesmo dia), porém em outros casos somente após o retorno da peça já com a primeira correção.

Outro ponto observado durante o período de mapeamento das falhas foi o interesse explícito dos profissionais de montagem em participar da reunião de “FMEA” com a engenharia. Do ponto de vista desses profissionais a contribuição do montador mecânico neste evento, considerando a sua experiência prática, pode contribuir na antecipação das falhas e melhorias, minimizando os impactos na fase da montagem. Sob essa ótica, foi realizada uma consulta nas atas da reunião de

“FMEA” das amostras analisadas para identificar os profissionais participantes do evento. O levantamento é apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Participantes na reunião da “FMEA”

Amostra	Projetista Mecânico	Projetista Eletricista	Programador	Montador Mecânico	Montador Eletricista	Coordenador
A	2	1	0	4	2	1
B	1	1	1	0	2	1
C	2	2	3	0	1	1

Fonte: Atas de Reunião - Empresa X

Analisando o número de participantes em cada uma das reuniões, nota-se algumas discrepâncias como, por exemplo, na Amostra A, na qual não há presença do programador, enquanto que há quatro montadores mecânicos presentes. Já nas Amostras B e C não foi evidenciada a presença de montador mecânico.

Este cenário, algumas vezes, é reflexo da demanda de trabalho, isto é, mesmo que a duração da reunião não seja extensa, como o time é enxuto, há dificuldade em liberar um montador para participar.

4.3 FASE II – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

4.3.1 Combinação dos elementos no documento padrão

O documento padrão desenvolvido para a aplicação do método é ilustrado pela Tabela 4.3. A seguir são descritos cada um dos campos identificados no formulário.

Projeto (1) – é o número de centro de custo (CC) do projeto, funciona como o RG (Registro Geral) do equipamento do início ao término do projeto.

Fase (2) – Refere-se à fase em que o projeto se encontra no momento da análise. Há duas fases que estão consideradas neste escopo: projeto mecânico e montagem/testes.

Descrição (3) – Corresponde ao título do projeto.

Participantes (4) – Elenca o nome de cada integrante presente e área da engenharia a que pertence.

Data de Revisão I e Responsável (5) – Data da primeira reunião de análise de falha e nome do indivíduo responsável pelo registro das informações no formulário.

Data de Revisão II e Responsável (6) – Data da revisão após as alterações solicitadas na Revisão I terem ocorrido. O responsável por esta revisão pode ser o líder da área de projeto mecânico.

Item analisado (7) – Identifica o componente do sistema a ser analisado.

Descrição da Falha (8) – Define a maneira como o componente em análise pode falhar.

Causa Raiz (9) – É a razão de ocorrência do modo de falha.

Contramedida (10) – Refere-se à ação a ser tomada para mitigar ou minimizar as causas de falhas.

Resultado Esperado (11) – É a condição que se espera obter com a ação de correção.

Responsável/Área (12) – Define-se o indivíduo responsável e a respectiva área a qual pertence para a execução da ação.

Prazo (13) – Data limite para conclusão das correções e apresentação.

Status (14) – Campo destinado para identificar se a melhoria foi concluída no prazo ou não, considerando “OK” para ação concluída e “NOK” para ação pendente.

Grupos (15) – Os grupos têm como finalidade identificar de modo objetivo o que a falha requer para ser elidida. São cinco os grupos:

1. Dimensionamento de Componentes: Refere-se à necessidade de adicionar, remover ou alterar componentes comerciais.

2. Modificações Mecânicas: Este grupo está relacionado a alterações em peças e componentes mecânicos que serão fabricados.

3. Requisitos de Segurança: Compreende alterações relacionadas aos requisitos de segurança na operação do equipamento.

4. Ergonomia: Está relacionado às ações para atender requisitos ergonômicos.

5. Integração: Refere-se às modificações realizadas para possibilitar a integração entre as três engenharias (mecânica, elétrica e programação).

Observações (16) - Campo disponível para registro de informações adicionais e/ou de controle referente a determinado item.

O formulário é configurado para o formato A3 e, em cada página, é possível registrar a análise de até dez itens.

Tabela 4.3 - Documento padrão para análise de falhas na fase de projeto

PROJETO

1

DESCRÇÃO

3

FASE

2

PRESENTES

4

7

Item Analisado

8

Descrição da Falha

9

Causa Raiz
(Por que?)

10

Contramedida
(Ações)

11

Resultado Esperado

12

Responsável/Área

13

Prazo

14

Status
(ok/nok)

15

Grupos

16

OBSERVAÇÕES

1

Nome

2

Área

3

Nome

4

Área

5

Data Revisão I

6

Data Revisão II

7

Responsável

8

Responsável

9

1. Dimensãoamento de Componentes

10

2. Modificações

11

3. Requisitos de Segurança

12

4. Ergonomia

13

5. Integração

14

Nº Item:

15

Nº Item:

16

Nº Item:

Fonte: a autora, 2015

Para aplicação do método nas fases de montagem e testes, foram consideradas algumas adequações nos seguintes campos do documento padrão:

- **Data (5/6):** possibilitando acumular várias ocorrências em um mesmo formulário;
- **Grupos (15):** foi limitado aos grupos que possuem relação com as ocorrências de falhas acumuladas no formulário, havendo flexibilidade para inclusão dos demais grupos, se necessário. Com a redução de um dos campos de data e revisão (5 e 6), este campo está identificado no formulário pelo número 14;
- **Resultados Obtidos:** campo novo que tem por objetivo apontar os resultados da execução. Compreende o status “Satisfatório” para as ações que tiveram sucesso na implementação, e “Insatisfatório” para as ações que necessitam de nova tentativa.

A Tabela 4.4 ilustra o formato do documento. Estas adequações contribuem para flexibilizar o agrupamento das ocorrências com datas distintas em um mesmo documento.

Com relação à etapa de aprovação dos novos conceitos, estas continuam a ser aprovadas pelo líder técnico da área de projetos. Já o acompanhamento da execução das ações propostas, em casos mais críticos, além do coordenador, o diretor responsável pelo projeto também passa a se envolver com presença *in loco* nas reuniões e testes.

Tabela 4.4 - Documento para análise de falhas nas fases de montagem e testes

Projeto

1

Fase

2

Descrição

3

Relatório A3 para Análise de Falhas

Página 1/1

Presentes

4

Data Revisão

5

Responsável

Nome

Área

Nome

Área

Item Analisado

6

Descrição da Falha

7

Causa Raiz
(por que?)

8

Contramedida
(Ações)

9

Resultado Esperado

10

Responsável/Área

11

Prazo

12

Status
(ok / nok)

13

Resultado Obtido
(In) Satisfatório

14

Grupo Acompanhamento

Item

1

2

3

4

OBSERVAÇÕES

15

Nº Item: 1

Nº Item:

Fonte: a autora, 2015

4.3.2 Evento de sensibilização

Uma vez elaborado o documento padrão para registro das análises, o segundo passo foi realizar a sensibilização com as lideranças das áreas. A abordagem teve como base a apresentação do formulário padrão desenvolvido e os pontos de fragilidade das práticas atuais reforçados pelos índices de falhas apurados na Fase I.

A importância de haver registros mais detalhados referentes à análise das falhas e o histórico do conhecimento adquirido com as correções também foi tema da pauta. Para finalizar, foi sugerida a participação efetiva de pelo menos um profissional de cada uma das áreas (projeto mecânico, projeto elétrico, programação, montagem mecânica e montagem elétrica) na reunião de “FMEA”.

4.3.3 Checklist de revisão do detalhamento

Em virtude do universo de peças que compõe o produto, o escopo da revisão do detalhamento foi limitado às peças que requerem processo de fabricação por usinagem e/ou de geometria complexa. Esta delimitação é justificada por se tratar de peças com maior valor agregado, considerando como variáveis importantes o tempo e o custo de fabricação.

A revisão do detalhamento é efetuada por um projetista indicado pelo líder da área ou pelo próprio líder. Os desenhos que possuem correção com base em algum dos itens do *checklist* são registrados em uma tabela com o mesmo formato da Tabela 3.1. A pesquisadora acompanha a atividade de revisão e efetua o registro dos desenhos que sofreram correção para, na fase de montagem, identificar se os desenhos que passaram pela revisão geraram peças conformes para a montagem.

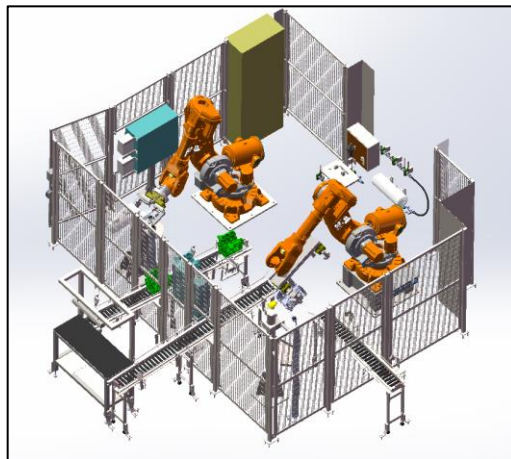
4.4 FASE III – APLICAÇÃO E RESULTADOS

4.4.1 Apresentação das amostras

Assim como na Fase I, o número do CC de amostras é substituído pelas letras “D”, “E” e “F”. A seguir é apresentada uma breve descrição de cada uma das amostras analisadas.

• **Amostra D:** Corresponde ao desenvolvimento de uma célula robotizada para rebarbação automática de bloco de motor. Compreende a utilização de dois robôs, conjunto de esteiras para entrada e saída dos blocos da célula, pinças para pega dos blocos, painéis eletroeletrônicos e duas bancadas para inspeção. A Figura 4.9 ilustra a referida célula robotizada.

Figura 4.9 - Célula Automatizada para Rebarbação

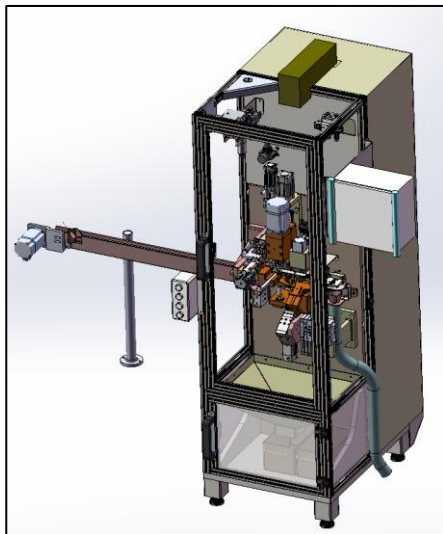


Fonte: Empresa X

• **Amostra E:** Corresponde ao desenvolvimento de duas máquinas para polimento de terminais de bateria. Os equipamentos compreendem esteira de alimentação, dispositivo de polimento (porta-ferramenta de usinagem) e inspeção por sensor laser, ilustrada na Figura 4.10.

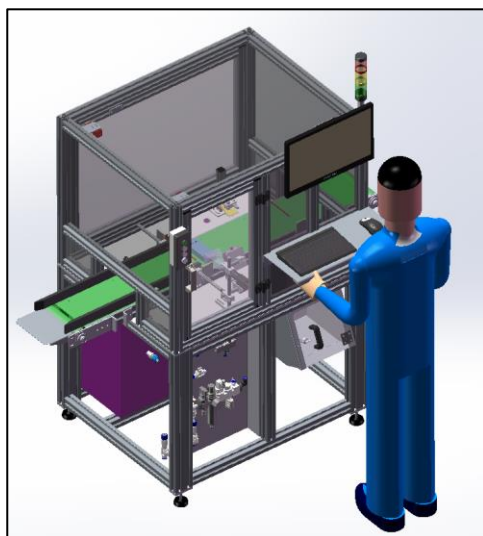
• **Amostra F:** Refere-se a dois sistemas de visão, cada qual com uma câmera para leitura de código *Data Matrix* (*Electronic Label Verification* - ELV) no produto e uma unidade individual para realizar o ELV e *Batch* no cartucho. Compreende câmeras, módulos de iluminação, suportes mecânicos, sensores, painel elétrico, sistema de rejeito e estrutura de sustentação, conforme mostra a Figura 4.11.

Figura 4.10 - Máquina de Polimento



Fonte: Empresa X

Figura 4.11 - Unidade Individual de Inspeção



Fonte: Empresa X

4.4.2 Aplicação do método

A aplicação do método inicia com o agendamento da reunião para apresentação do projeto e análise das falhas. O grupo escalado normalmente é distinto para cada projeto. Isso se deve à alocação de recursos em cada projeto e a disponibilidade de agenda.

Assim como na Fase I, este evento é organizado pelo coordenador do projeto ao término do modelamento mecânico. Neste evento já está requisitada a presença de pelo menos um profissional de cada área incluindo a participação de profissionais de montagem mecânica e elétrica. No Apêndice B são apresentados os relatórios A3 resultantes das reuniões de análise das falhas, aplicados na fase de projeto, para as amostras “D”, “E” e “F”, respectivamente.

É possível observar nos relatórios do Apêndice B, pelo menos um profissional de cada área técnica esteve presente nas reuniões de análise de falhas. Para obter esse cenário, algumas vezes foi preciso reagendar data e mesmo descartar a aplicação do método em determinada amostra devido ao quadro incompleto das áreas para a análise. Em relação ao fluxo de condução da reunião, o grupo não sentiu necessidade de modificação, ou seja, a apresentação do projeto foi conduzida pelo projetista mecânico obedecendo a sequência de atuação dos sistemas, subsistemas e, em alguns casos, componentes. Também houve certa dificuldade no preenchimento do relatório A3 devido ao ritmo bastante dinâmico que normalmente são realizadas as reuniões, de modo que enquanto alguns integrantes participavam na identificação das causas e resultado esperado, outros avançavam na análise dos demais pontos.

Evidenciou-se também que, embora a maioria dos integrantes dos três grupos apresentasse fortes características de conhecimento e experiência prática, os perfis de análise crítica e participação diferem sensivelmente. No caso da Amostra D, o grupo se apresentou mais participativo e crítico do que os grupos das amostras E e F. Além disso, notou-se que a experiência do projetista também exerce influência sobre a análise do grupo. No caso das Amostras E e F os projetistas são mais experientes do que o projetista da Amostra D.

Outro ponto observado foi a duração das reuniões, que variou de duas horas (Amostras E e F) a quatro horas (Amostra D), mantendo-se dentro do escopo de rotina.

Ao término da reunião de análise de falhas, os responsáveis pelas ações implementam as contramedidas no período estabelecido e, ao concluí-las, informam ao líder da área para que seja efetuada a conferência. Uma vez efetuada a revisão o Relatório A3 é atualizado,

informando na coluna *status* de cada uma das contramedidas: “ok” para as que atendem o escopo estabelecido e “nok” para as que apresentam alguma discordância. A partir desse momento, é iniciada a atividade de detalhamento, o qual não necessariamente é realizado pelo projetista que modelou o projeto. Normalmente, para acelerar a liberação da BOM para compras e fabricação, outros profissionais do setor são alocados para auxiliar o projetista nesta atividade.

4.4.3 Aplicação do *checklist* de revisão do detalhamento

Finalizado o detalhamento, a etapa seguinte do método prevê a aplicação do *checklist* de revisão pelo líder da área, ou um projetista por este designado. A Tabela 4.5 apresenta as informações detalhadas relacionadas à quantidade de desenhos e peças de cada amostra.

Tabela 4.5 - Relação de desenhos e peças por amostra

Amostras	Dados das Amostras		Dados da Revisão		Dados da Correção	
	Total Desenhos	Total Peças Correspondentes	Total Desenhos Revisados	Total Peças Correspondentes	Total Desenhos Corrigidos	Total Peças Correspondentes
D	220	550	63	162	17	26
E	185	220	19	36	8	14
F	105	197	34	67	13	19

Fonte: Lista de Processo Empresa X

Pelos dados da Tabela 4.5 pode-se estabelecer o percentual de falhas que foram identificadas e corrigidas ainda na fase de desenvolvimento. No caso da Amostra D, as 26 peças corrigidas correspondem a 16% do total de peças que foram revisadas e a 4,73% do total de peças fabricadas da amostra. Na Amostra E, cuja revisão foi parcial em virtude da indisponibilidade de recurso de projeto mecânico para realizar o procedimento, as 14 peças corrigidas correspondem a 39% das peças revisadas e a 6,36% do total das peças da amostra. Por fim, na Amostra F as 19 peças retificadas correspondem a 28% das peças revisadas e, 9,64% do total das peças. Para verificar a eficácia das correções realizadas na revisão, foram registrados os números dos desenhos corrigidos. Esta informação permite rastrear se as peças físicas correspondentes, na fase de montagem, apresentarão falha recorrente de detalhamento. As Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 ilustram os registros dos desenhos que apresentaram não conformidade na revisão do detalhamento - Amostras “D”, “E” e “F”, respectivamente.

Tabela 4.6 - Revisão do detalhamento - Amostra D

AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	ITEM VERIFICAÇÃO CHECK LIST
D	D.010.10.10.01	1	2 - Cotas e Tolerâncias 5 - Material Aplicado
D	D.010.30.00.01	1	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.010.30.11.01	2	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.010.30.11.03	1	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.010.30.11.04	1	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.010.30.20.04	2	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.020.10.00.11	4	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.020.10.60.03	1	1 - Interferência
D	D.020.10.60.04	2	1 - Interferência
D	D.020.10.60.05	4	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.020.10.60.06	1	5 - Material Aplicado
D	D.020.10.70.04	1	3 - Incompatibilidade entre furos e rosas
D	D.020.10.90.01	1	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.020.10.90.03	1	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.020.10.90.05	1	1 - Interferência
D	D.030.20.00.07	1	2 - Cotas e Tolerâncias
D	D.060.00.00.02	1	1 - Interferência
Total	17	26	NA

Tabela 4.7 - Revisão do detalhamento - Amostra E

AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	ITEM VERIFICAÇÃO CHECK LIST
E	E.010.10.00.02	2	1 - Interferência 2 - Cotas e Tolerâncias
E	E.010.10.00.04	2	2 - Cotas e Tolerâncias
E	E.010.10.00.07	2	2 - Cotas e Tolerâncias 6 - Rugosidade
E	E.010.10.00.16	2	2 - Cotas e Tolerâncias
E	E.010.30.00.02	1	3 - Incompatibilidade entre furos e rosas
E	E.010.30.00.05	2	2 - Cotas e Tolerâncias 3 - Incompatibilidade entre furos e rosas
E	E.010.30.00.08	2	2 - Cotas e Tolerâncias 3 - Incompatibilidade entre furos e rosas
F	E.020.30.00.01	1	3 - Incompatibilidade entre furos e rosas
Total	8	14	NA

Tabela 4.8 - Revisão do detalhamento - Amostra F

AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	ITEM VERIFICAÇÃO CHECK LIST
F	F.010.10.00.16	2	3 - Incompatibilidade entre furos e roscas
F	F.010.10.10.01	2	1 - Interferência
F	F.010.10.10.02	2	3 - Incompatibilidade entre furos e roscas
F	F.040.20.00.01	1	1 - Interferência
F	F.040.20.10.03	1	2 - Cotas e Tolerâncias
F	F.040.20.10.12	2	1 - Interferência
F	F.040.20.10.13	1	2 - Cotas e Tolerâncias
F	F.040.30.00.05	1	3 - Incompatibilidade entre furos e roscas
F	F.040.30.00.09	2	1 - Interferência
F	F.040.30.00.10	1	1 - Interferência
F	F.040.30.00.11	2	1 - Interferência 5 - Material Aplicado
F	F.040.40.00.02	1	2 - Cotas e Tolerâncias
F	F.040.50.00.02	1	1 - Interferência
Total	13	19	NA

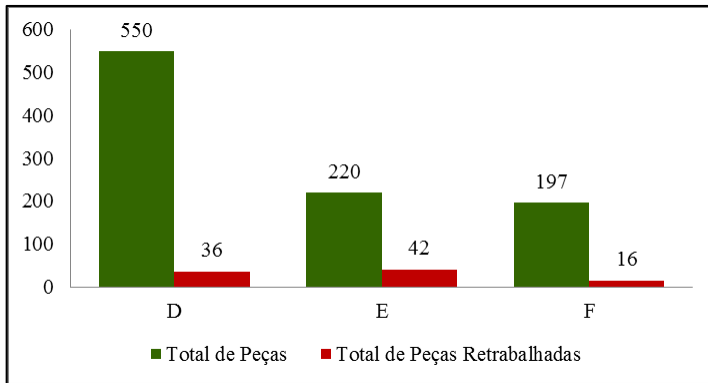
Observando-se a última coluna à direita, nota-se que a maioria das ocorrências tem relação com os itens 1 e 2 do *checklist*. Outro ponto recorrente da Fase I, podendo ser minimizado pelo procedimento de revisão do detalhamento, são os desenhos que apresentam mais de um tipo de ocorrência prevenindo a duplicação de retrabalhos em uma mesma peça. Além disso, ocorrências de modelamento também são minimizadas pelo uso da ferramenta, isto é, ao se analisar o item 1- Interferência, situações como, por exemplo, necessidade de rebaixos, deslocamento de furações, recortes, também são consideradas.

4.4.4 Mapeamento dos retrabalhos

Assim como na Fase I, o mapeamento é realizado *in loco* com o suporte dos profissionais de montagem. A relação dos retrabalhos está apresentada no Apêndice C.

Para representar o número de peças retrabalhadas em relação ao total de peças fabricadas foi considerado o total de peças por amostra descrito na Tabela 4.5, e o número de peças retrabalhadas apresentado no Apêndice C. O gráfico da Figura 4.12 ilustra estas informações.

Figura 4.12 - Total de Peças x Total de Peças Retrabalhadas



Fonte: a autora, 2015

Efetuada a verificação da eficácia da revisão do *checklist* em relação às peças retrabalhadas, foi possível verificar a seguinte condição:

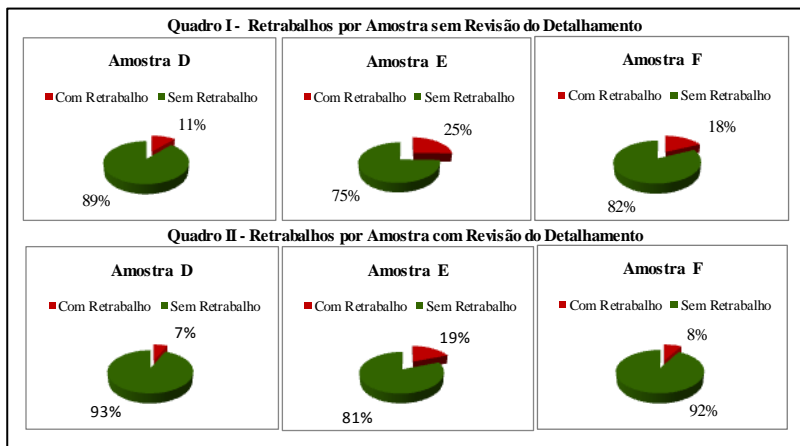
- **Amostra D:** Não foram identificadas ocorrências de retrabalhos nas peças cujos desenhos sofreram correção na revisão do detalhamento.
- **Amostra E:** Foram identificadas duas ocorrências, totalizando quatro peças com falha recorrente de detalhamento. Este dado corresponde a 71,5% de eficácia em relação às 14 peças corrigidas.
- **Amostra F:** Foi identificado um desenho, correspondente a duas peças, com falha recorrente de detalhamento, representando 89,48% de eficácia do procedimento, em relação às 19 peças corrigidas.

Uma visão ampla dos efeitos da aplicação do *checklist* é apresentada nos quadros I e II da Figura 4.13. Para obter os percentuais do quadro I o número de peças corrigidas na revisão do detalhamento (dados das Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8) foi somado ao número de peças retrabalhadas na fase de montagem. Desse modo, o Quadro I representa o percentual de peças que seriam retrabalhadas caso o *checklist* não tivesse sido aplicado.

Já no Quadro II os percentuais retratam a condição obtida com a utilização do procedimento, ou seja, com a prática do procedimento foi

possível obter resultados que contribuíssem em até 10% de redução de peças retrabalhadas, como é o caso da Amostra E.

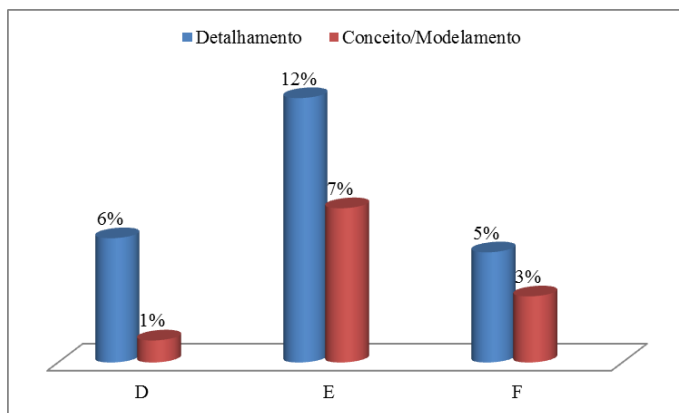
Figura 4.13 - Percentual de Retrabalhos: Com Revisão x Sem Revisão



Fonte: a autora, 2015

A Figura 4.14 estratifica os percentuais de retrabalho, por amostra, apresentados por Quadro II da Figura 4.13.

Figura 4.14 - Estratificação de Retrabalhos



Fonte: a autora, 2015

Observando a Figura 4.14, evidencia-se que dos 7% de peças retrabalhadas na Amostra D, 6,0% referem-se a falhas de detalhamento e 1,0% a peças com problemas no modelamento. Já na amostra E, dos 19% de peças retrabalhadas na montagem, 12% correspondem falhas de detalhamento e 7,0 % se divide entre conceito e modelamento. Neste caso, um percentual elevado pode ser reflexo de um procedimento de revisão que não foi completo em decorrência de não haver profissional disponível para concluir a revisão. Por fim, para a Amostra F 5,0 % dos retrabalhos possuem relação com detalhamento e 3,0% decorrente da modelagem.

Observou-se também que a aplicação do *checklist* exerce a influência sobre as ocorrências de modelamento, isto é, ao aplicar o item 1 do *checklist* (interferência), por exemplo, o projetista consegue antecipar a correção do modelamento, como por exemplo, projetar rebaixos, corrigir pontos de fixação, reposicionar furações, entre outros. Vale destacar que pequenas correções e alterações são realizadas internamente pelos próprios montadores. Porém, as que necessitam de alterações mais complexas ou que afetam o tratamento superficial são reencaminhadas aos fornecedores da fabricação. O prazo para que estejam novamente disponíveis para a montagem, em alguns casos, é superior a uma semana, o que impacta diretamente nos prazos e em custos adicionais.

Devido à demanda de trabalho a revisão do detalhamento em todos os desenhos que compõem o equipamento não é viável na condição atual da organização. Nesse sentido, o estabelecimento de critérios e limite de escopo nas amostras estudadas tornaram-se alternativas para a implementação do procedimento apresentou resultados bastante significativos na minimização da quantidade de peças retrabalhadas. Outra opção seria utilizar as ferramentas de simulação de montagem que o *software* de CAD 3D oferece para identificar os casos de maior criticidade e, assim, efetuar as correções necessárias.

4.4.5 Registro do conhecimento: solução de falhas de conceito utilizando o método A3 na fase de montagem mecânica e testes

A falha de conceito, quando ocorre, se torna mais visível na fase de integração e testes do equipamento, pois é neste momento que as partes da mecânica, elétrica e programação estabelecem a comunicação simultânea para que o sistema entre em operação. A partir deste

momento, as condições funcionais e de desempenho do equipamento são exploradas e testadas até se obter estabilidade, repetibilidade, qualidade, tempo de ciclo entre outras condições que podem estar vinculadas à entrega do equipamento ao cliente.

Para melhor compreensão esta subseção se divide nas seguintes etapas: (a) prática atual e (b) aplicação do método.

(a) Prática atual: A prática habitual com relação às correções de falhas de conceito na fase de testes e integração é intermediada pelo coordenador do projeto que, ao receber o *feedback* da falha pelo time de testes (programador e montador mecânico), solicita a presença do projetista *in loco* para analisar a ocorrência. Em algumas ocasiões a participação de fornecedores e do cliente também se faz necessária para contribuir nas medidas implementadas. Após se inteirar da falha e analisar as possibilidades com o grupo, o projetista dá sequência nas alterações mecânicas do projeto e as encaminha ao líder da área para revisão e liberação para a fabricação. Logo após serem fabricadas, as peças são montadas no equipamento e novos testes são realizados. Caso o resultado não seja o esperado, o ciclo se repete. As análises são informais, não possuindo registros. Sendo assim, o conhecimento gerado com as tentativas de sucessos e insucessos se concentra apenas nas mentes dos colaboradores envolvidos e se perde com o tempo pelo dinamismo das atividades diárias, ou nas alterações no quadro de funcionários.

Com o intuito de minimizar a lacuna da perda do conhecimento, foi aplicada a filosofia do método A3 integrada às técnicas da FMEA para solucionar falhas de conceito mecânico na fase de montagem e testes.

(b) Aplicação do método: Normalmente os primeiros a se familiarizarem com a falha são o montador mecânico e o programador. Nesse primeiro momento, algumas tentativas de solucionar a ocorrência são realizadas e, caso o resultado não seja o desejado, há então a necessidade de envolvimento do projetista.

Para nortear a aplicação do método considerando o grupo, foram estabelecidos alguns passos com o auxílio do líder de projeto:

1. Observar o sistema em funcionamento;
2. Isolar o componente ou peça que apresenta a falha;
3. Identificar os fatores que direta ou indiretamente podem interferir no desempenho (lógica de programação, pressão de operação, robustez dos componentes que atuam no conjunto,

- características do produto, característica da peça, entre outros);
4. Identificar os ajustes possíveis;
 5. Executar os ajustes;
 6. Efetuar novos testes. Se o resultado não for satisfatório;
 7. Identificar a causa raiz;
 8. Discutir a(s) ação(ões) a ser(em) implementada(s) e analisar os possíveis impactos;
 9. Executar e acompanhar o planejado;
 10. Verificar a eficácia da ação.

As etapas funcionam como um *checklist* para exaurir, em grupo, as possibilidades existentes antes de realizar modificações do conceito. Além disso, no caso de profissionais iniciantes, estimula o senso investigativo e a busca por otimizações para melhorar o desempenho do sistema.

As análises envolvendo falhas conceituais ocorreram *in loco*, isto é, junto ao equipamento. Ao término do passo-a-passo e da troca de informações, chega-se ao consenso das ações a serem implementadas. O registro das medidas discutidas em campo, por questões de praticidade, é realizado em um caderno e posteriormente transferido para o formulário padrão para acompanhamento.

As Tabelas 4.9 e 4.10 apresentam o Relatório A3 com histórico das falhas e das contramedidas implementadas nas Amostras D e E, respectivamente. Na Amostra F não houve ocorrência de falha mecânica conceitual.

Em virtude da Amostra E ter apresentado um mesmo item com várias ocorrências, para facilitar o acompanhamento das implementações em item, estes foram agrupados em sequência no Relatório A3.

Tabela 4.9 - Relatório A3 para falhas de conceito – Amostra D

Projeto

Amostra D

Relatório A3 para Análise de Falhas

Descrição

Célula Robotizada para Rebarbação

Projeto

Montagem /Testes

Presentes

Nome	Área	Nome	Área
	Projeto Mecânico		
	Programação		
	Montagem Mecânica		
	Coordenação		

Data Revisão

11/08/2014

Responsável

XXX- Líder de Projeto Mecânico

Item

1.

Item analisado

Placa base

Descrição da falha

Sistema de fixação não permite o posicionamento do cilindro stopper na posição de atuação

Causa Raiz

A furação do suporte de fixação está invertida (em diagonal)

Contramedida

Refazer a furação no suporte

Resultado Esperado

Permitir inclinação vertical do cilindro

Responsável/Área

XXXX
Montagem Mecânica

Prazo

11/08/14

Status

ok

Resultado Obtido

(In) Satisfatório

Satisfatório

Grupo

Acompanhamento

Nº Item: 1



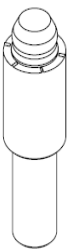
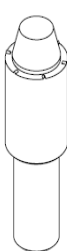


Projeta mecânico atualizar o desenho no projeto.

OBSERVAÇÕES

Analisando os registros de cada amostra, evidencia-se um item com falha na Amostra D e seis itens distintos na Amostra E. A solução implementada no caso D foi bem sucedida não sendo necessário estabelecer novas ações. Já na Amostra E, dois dos seis itens (pinça e ferramenta de polimento) que apresentaram falha no conceito exigiram maior esforço e dedicação da equipe técnica para que as condições de operação e funcionamento fossem atingidas. Isso se deve ao fato de um dos produtos a ser polido apresentar estrutura irregular (excentricidade) decorrente do processo de fabricação e propriedade mecânica de ductilidade, deformando-se facilmente. Desse modo, havia necessidade de buscar soluções para absorver estas condições e permitir qualidade, e repetibilidade nos testes realizados.

A Tabela 4.11 ilustra as tentativas conceituais para a pinça, descritas detalhadamente na Tabela 4.10 (página 2/2). Foram seis tentativas e aproximadamente dois meses de dedicação adicional do time em relação ao planejamento inicial para se chegar à condição de desempenho satisfatório. Situações de mudanças como estas resultam em entrega fora do prazo e, conseqüentemente, interferência negativa no fluxo de caixa, custos adicionais com mão-de-obra e retrabalhos, fragilidade da relação com o cliente, etc., reforçando a necessidade de adotar métodos e procedimentos estruturados na rotina de atividades para minimizar os impactos originados pelas falhas.

Tabela 4.11 - Evolução das tentativas para a pinça

Conceito 1	Conceito 2	Conceito 3	Conceito 4	Conceito 5	Conceito 6
Pinça Expansiva	Pinça Rígida (3 garras)	Pinça Rígida (6 garras)	Conceito para o produto fundido (6 garras)	Pinça Rígida (8 garras)	Pinça Rígida (8 garras) - Alteração da geometria
					

Fonte: Empresa X

Após a solução da falha o conhecimento é criado com base nos resultados da análise de causa e das soluções implementadas. Ao utilizar o conhecimento gerado para prevenir falhas em projetos futuros, a ferramenta desempenhará papel essencial no suporte à qualidade.

Para isso, é fundamental que as equipes compartilhem o conhecimento adquirido umas com as outras. Isso pode ser feito por meio de eventos recorrentes e específicos para este fim, preparados com o histórico das tentativas e imagens ilustrativas retratando as experiências vivenciadas por cada time. O evento em grupo atuará de modo estratégico para estimular o uso do conhecimento adquirido em prol de uma cultura de prevenção de falhas recorrentes em fases menos onerosas do processo. Contudo, os resultados desta prática serão obtidos em longo prazo, à medida que a biblioteca do conhecimento for alimentada e o seu conteúdo utilizado constantemente.

Outro fator que pode ser influenciado pelo método é o prazo de entrega dos equipamentos. Isso porque, com a prevenção de falhas e retrabalhos ainda na fase de desenvolvimento minimiza-se o tempo de espera pela peça, a ser corrigida ou fabricada, o que influencia diretamente o prazo de entrega.

É válido destacar que, no caso da Amostra E, o método auxiliou no *feedback* das implementações para o cliente, proporcionando a este visibilidade e acompanhamento periódico das ações e resultados obtidos, promovendo uma relação cooperativa entre cliente e fornecedor.

Com relação ao *feedback* dos participantes com envolvimento na pesquisa, ele mostrou-se positivo principalmente nos aspectos relacionados às práticas que asseguraram as análises em grupo. Em relação ao uso do formulário padrão para análise de falhas e registro do conhecimento, identificam que é necessário trabalhar algumas mudanças culturais para que a adoção de métodos para a melhoria dos processos seja eficiente.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo de pesquisa combinar os métodos FMEA e A3 em um documento padrão para análise de falhas em desenvolvimento de produtos e registro do conhecimento gerado decorrente das ações para solucionar as falhas. O estudo se desenvolveu em uma empresa do segmento de automação industrial cujo processo produtivo é por *jobbing*.

Para contextualização da proposta, nos capítulos iniciais são apresentadas as necessidades das organizações em adotar práticas para assegurar a qualidade dos produtos oferecidos ao mercado. Também foram apresentados os conceitos de desenvolvimento de produto, confiabilidade e dos métodos FMEA e A3.

A etapa prática da pesquisa foi estruturada em três fases:

- Fase I – Análise da condição atual: nesta fase se buscou conhecer o cenário da empresa colaboradora para identificar as oportunidades de melhoria.
- Fase II – Desenvolvimento do método: abrange o desenvolvimento do método com vista para as oportunidades de melhoria identificadas na Fase I;
- Fase III – Aplicação e resultados: compreende a aplicação do método desenvolvido para análise de falhas na etapa de projetos e registro do conhecimento nas etapas de montagem e testes.

O método desenvolvido integrando os dois métodos (FMEA e A3) oferece uma estrutura flexível e objetiva, sem perder a essência que norteia as duas ferramentas: a busca pela causa raiz e a melhoria contínua da qualidade dos produtos e processos.

Analisando as informações apuradas na Fase I sobre as práticas atuais, evidenciam-se pontos de fragilidade do processo como, por exemplo, ausência de características investigativas e analíticas das possíveis falhas, assim como de parâmetros para acompanhamento (responsável e prazos definidos) nas informações resultantes da “FMEA”, possivelmente estimulados pelo próprio formato do documento adotado; quadro de participantes das áreas incompleto, e

algumas vezes desproporcional, na reunião de análise de falhas. O acompanhamento dos retrabalhos nas três amostras iniciais apontou índices de 16 a 23% de retrabalhos em peças fabricadas, sendo a maioria decorrente de falhas de detalhamento e modelamento. Falhas de conceito identificadas na fase de montagem não ultrapassam 1,5%.

O fator contributivo para esses índices percentuais está relacionado à carência de uma prática: a revisão do detalhamento. Isto é confirmado quando se observa o cenário apresentado caso a revisão não tivesse ocorrido nas amostras da Fase III. Com o desenvolvimento e implementação de um *checklist* de revisão foi possível obter entre 5% e 10% de redução de peças retrabalhadas. Percentual bastante significativo quando se vincula os retrabalhos a custos adicionais relacionados às correções, redução da produtividade em decorrência do tempo de espera da peça corrigida, atrasos na entrega e comprometimento da imagem da organização no mercado. Vale destacar que a revisão foi limitada a desenhos de peças com maior valor agregado, representando um percentual que varia entre 10% a 30% do total de desenhos em cada amostra. O procedimento de revisão do detalhamento também pode contar com recursos do próprio *software* CAD 3D utilizado no desenvolvimento do projeto, por meio de simulações de montagem para identificar interferências ou por recurso humano. A primeira opção não é adotada na empresa colaboradora. Já a segunda ocorre apenas pontualmente, não abordando todos os itens do *checklist* e nem em escala suficiente para obter retorno significativo na minimização dos retrabalhos. A principal dificuldade externada pela área de projetos para inserir a atividade na rotina está relacionada à indisponibilidade de recursos para dedicar a atividade associada algumas vezes aos prazos agressivos dos projetos. Em todos os âmbitos hierárquicos da empresa colaboradora houve boa aceitação sobre a necessidade de inserção da prática na rotina de atividades, sendo estudada a possibilidade de dedicação de um recurso específico para tal.

Com relação à integração dos métodos (FMEA e A3) em um documento padrão, contendo alterações mínimas no *layout* da fase de projeto para a fase de montagem e testes, observou-se aspectos positivos relacionados à familiaridade dos envolvidos, que participaram na fase de concepção, em realizar o passo-a-passo na segunda aplicação. Além disso, o modelo oferece praticidade para consultas e atualizações, pois permite a inclusão de falhas distintas em um mesmo Relatório A3, reduzindo o número de documentos avulsos. Já o método de Zhu (2012) difere consideravelmente neste aspecto, pois adota a documentação da FMEA na fase de projeto e o Relatório A3 do tipo história de solução de

problemas como ferramenta complementar para a solução de falhas na fase de testes, requerendo um Relatório A3 para cada falha ocorrida.

Outro ponto interessante do estudo de Zhu (2012) foi o desenvolvimento do trabalho com uma equipe de engenharia fixa, o que torna possível acompanhar a evolução do grupo com relação à aplicação do método. No presente estudo essa prática não foi possível, pois os grupos eram distintos em cada uma das amostras estudadas. De outra ótica, esse ponto pode ser considerado um fator favorável, pois permite identificar os indivíduos que apresentam perfil de destaque e assim, estudar a formação de uma equipe robusta para atuar, principalmente na prevenção de falhas na fase de concepção.

Sendo assim, de modo geral, pode-se concluir que:

1. A abordagem do método para assegurar a qualidade foi bem aceita, mas a implementação requer mudança de hábitos e estabelecimento de rotina nas práticas adotadas pela empresa colaboradora;
2. O *checklist* de revisão do detalhamento foi de grande contribuição para a prevenção de falhas nas peças fabricadas, obtendo-se até 10% de redução de retrabalhos;
3. A combinação dos métodos (FMEA e A3) em um documento padrão estimula a reflexão em grupo e o acompanhamento das ações implementadas. Entretanto, o documento pode requerer modificações para oferecer aos usuários uma interface amigável e eficiência nos processos;
4. Assegurar a participação de indivíduos experientes e com perfil proativo que atuam em etapas de execução promove a troca de conhecimento e previne falhas recorrentes na fase de concepção;
5. Estudos adicionais se fazem necessários para a validação do método, alguns dos quais são sugeridos a seguir.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste estudo foram identificadas algumas oportunidades a serem exploradas, porém não foram implementadas por não estarem compreendidas no escopo da pesquisa. Sendo assim, sugere-se para trabalhos futuros:

- Gerenciar o fornecimento do conhecimento para novos projetos, isto é, estabelecer meios que favoreçam e incentivem a consulta

aos históricos gerados para auxiliar na solução de falhas similares;

- Aplicar o método integrado para análise de falhas para produtos seriados e analisar seu comportamento e resultados;
- Realizar estudo dos custos relacionados às falhas (prazo, mão de obra e materiais);
- Estender a aplicação do método para itens comerciais elétricos e mecânicos e, do mesmo modo, para a solução falhas de projeto e montagem elétrica e de programação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)** – Reference Manual, Fourth Edition, 2008.

AL-ASHAAB, A., HOWELL, S., USOWICZ, K., ANTA P. H.; GORKA, A. **Set-Based Concurrent Engineering Model for Automotive Electronic/Software Systems Development**. Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design, Cranfield University, 30-31 March 2009.

ALTABBAKH, H., MURRAY S., GRANTHAM K., DAMLE S. **Variations in Risk Management Models: A Comparative Study of the Space Shuttle Challenger Disaster**. Engineering Management Journal. v.25, n.2, 2013.

ANDRADE JÚNIOR, P. P. **Modelo bidimensional de avaliação da capacidade de superação das dificuldades de empresas de base tecnológica em incubadoras: um estudo multicaso**. Tese de Doutorado – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ARAUJO, L. O. C.; AQUINO, J. P. R.; ROTONDARO, R. G. **Análise e Aplicabilidade das Ferramentas da Qualidade no Serviço de Fôrmas como Auxílio ao Planejamento para Produção**. Anais ... Salvador – BA, ENEGEP, 21, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade – terminologia**. Rio de Janeiro, Nov/1994.

BASTOS, A. L. A. **FMEA como Ferramenta de Prevenção da Qualidade em Produtos e Processos - Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem**. Anais... Fortaleza – CE, ENEGEP, 26, 2006.

BASSUK J. A.; WASHINGTON, I. M. **The A3 Problem Solving Report: A 10-Step Scientific Method to Execute Performance Improvements in an Academic Research Vivarium**. PLoS ONE 8(10): e76833. doi:10.1371/journal.pone.0076833, 2013.

BEITER K. A., CHELDELIN B., ISHII K. **Assembly Quality Method:** A Tool in aid of Product Strategy, Design, and Process Improvements, ASME Design Engineering Technical Conferences. Proceedings..., Baltimore, MD, Set/2000.

BERTSCHE, B. **Reliability in Automotive and Mechanical Engineering:** Determination of Component and System Reliability. Berlin:Springer, 2008.

BRAUN, P.; PHILIPPS, J.; SCHÄTZ, B.; WAGNER, S. **Model-Based Safety-Cases for Software-Intensive Systems.** Electronic Notes in Theoretical Computer Science, v.238, n.4, p.71-77. 2009.

CARMIGNANI, G. **An Integrated Structural Framework to Cost-Based FMECA:** The priority cost FMECA. Reliability Engineering & System Safety, 2008.

CHAO, L.; ISHII, K. **Design Process Error Proofing:** Failure modes and effects analysis of the design process. Journal Mechanical Design, Transactions ASME, v.129, n.5, p.491-501, 2007.

CLARKE, C. **Automotive Production Systems and Standardisation:** From Ford to the Case of Mercedes Benz. Physica-Verlag Heidelberg, 2005.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Managing new product and process development:** texts and cases. New York: Free press, 1993.

COOPER, R.G. **Winning at new products.** 3rd ed. Cambridge, Mass., M.I.T.: Perseus Publishing, 2001.

CRAWFORD, C. M.; BENEDETTO, C. A. DI. **New products management.** 8th ed. MacGraw-Hill/Irwin, 2006.

DAVENPORT, T. H. **Reengenharia de processos.** Rio de Janeiro: Campus, 1994.

ELMQVIST, J.; NADJM-TEHRANI, S. **Tool support for incremental Failure Mode and Effects Analysis of component-based systems.** In:

Proceedings - Design, Automation And Test In Europe, 2008. Anais... Suécia, 2008 p.921 - 927.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191. 2000. Editora da UFPR.

FAGUNDES, L.D. & ALMEIDA, D. A. **Mapeamento de Falhas em Concessionárias do Setor Elétrico**: padronização, diagramação e parametrização. In: **Anais do 11 SIMPEP**, Bauru - SP. 2004.

FALVO, T.; SILVA, S. L. **Caracterização do Processo de Desenvolvimento de Produtos de uma Empresa de Base Tecnológica de Pequeno Porte do Setor Cerâmico**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

FERNANDES, A. C.; CÔRTEZ, M. R. **Caracterização da Base Industrial do Município de São Carlos - Da Capacidade de Ajuste Local à Reestruturação da Economia Brasileira**. In: Anais do 7. Encontro Nacional da ANPUR, Porto Alegre, RS, 1999.

FERNANDES, A. C.; CÔRTEZ, M. R.; OSHI, J. **Innovation Characteristics of Small and Medium Sized Technology-Based Firms in São Paulo, Brazil**: A Preliminary Analysis, Proceedings of 4th International Conference of Technology Policy and Innovation. Curitiba, Brazil, August, 2000.

FERRO, J. R.; TORKOMIAN, A. L. V. **A Criação de Pequenas Empresas de Alta Tecnologia**. Revista de Administração de Empresas, Rio de Janeiro, v. 28. n.2, p. 43-50, abr./jun. 1988.

FERRO, J.R. **Processo de gerenciamento A3**. Liderança Nov/Dez 2009. Disponível em: <http://www.lean.org.br/comunidade/clipping/rev_lideranca.pdf>. Acesso em 20 out.2014.

FORD FMEA HANDBOOK (with Robustness Linkages), Ford Design Institute, 2004.

FRANCO, M.A.S. Pedagogia da pesquisa-ação. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 483-502, set./dez. 2005.

GHOSH, M.; SOBEK II, D.K. **Pragmatic problem-solving for healthcare: principles, tools, and applications.** Paper presented at the 18th Annual Society for Health Systems Conference. 10 – 12 February, San Diego, California, USA, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, A. **Um Estudo da Implementação da FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) sob a Ótica de Gerenciamento de Projetos.** Dissertação de Mestrado. - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, 2006.

GÖNCZY, L.; MAJZIK, I.; HORVÁTH, A.; VARRÓ, D.; BALOGH, A.; MICSKEI, Z.; PATARICZA, A. **Tool Support for Engineering Certifiable Software.** Electronic Notes in Theoretical Computer Science, v.238, n.4, p.79-85, 2009.

GONZALEZ, R.K.; GIRARDI, S. SEGATTO, A.P. **Processo de Criação de Empresas de Base Tecnológica – O Caso de uma Indústria de Automação Paranaense.** SIMPOI, Anais, 2009.

GUIMARÃES, A.C.F.; LAPA, C.M.F. **Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system.** Progress in Nuclear Energy, v.44, n.3, p.191-213, 2004.

GUPTA, A. K.; WILEMON, D. L. **Accelerating the Development of Technology-based New Products.** California Management Review, p.24 – 42, Winter, 1990.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de Falhas: Aplicação dos Métodos de FMEA e FTA.** Belo Horizonte: Fundação Christino Ottoni, 1995.

HOYLAND, A.; RAUSAND, M. **System reliability theory; Models and Statistical Methods.** New York: Wiley-Interscience, 2nd ed., 2004.

HUANG, G.; SHI, J.; MAK, K. **Failure mode and effect analysis (FMEA) over the WWW.** International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 16, n. 8, p.603 - 608, 2000.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60812**: Analysis techniques for system reliability: Procedure for failure mode and effect analysis (FMEA). Geneva, Switzerland, 2006.

JENAB, K.; DHILLON, B. **Group-based failure effects analysis**. International. Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, v. 12, n. 4, p.291 - 307, 2005.

JUGEND, D.; SILVA, S.L. **Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto**: Um Estudo Comparativo entre Empresas de Base Tecnológica do Setor de Automação Industrial. 25 Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005.

JUGEND, D.; SILVA, S. L.; TOLEDO, J. C. **Esforço inovador presente em empresas de base tecnológica de pequeno e médio porte: a perspectiva do setor de automação industrial**. In: Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica (ALTEC): Innovación Tecnológica, Cooperación y Desarrollo, 11., 2005, Salvador. Anais ...

JUGEND, D. **Desenvolvimento de Produtos em Pequenas e Médias Empresas de Base Tecnológica**: Práticas de Gestão do Setor de Automação de Controle de Processos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

KARA-ZAITRI, C.; KELLER, A.; Barody, I.; FLEMING, P. An improved FMEA methodology. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1991. Anais... Reino Unido, 1991. p.248 - 252.

KRUGLIANSKAS, I. **Engenharia Simultânea e Técnicas Associadas em Empresas Tecnologicamente Dinâmicas**. Revista de Administração São Paulo v.30, n.2, p.25-38, abril/junho 1995.

LAURENTI R. AND ROZENFELD H. **Proposta de Análise Integrada de Falhas Potenciais de Produto**. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto (CBGDP), São José dos Campos, SP, 2009.

LEVIN, M.; KALAL, T.T. **Improving Product Reliability: Strategies and Implementation**. West Sussex, England: Wiley, 2003.

LIKER, J.; MEIER, D. **The Toyota Way Fieldbook: A practical guide for implementing Toyota's 4Ps**. McGraw-Hill, New York, 2006.

LODGAARD, E.; PELLEGARD Ø.; RINGEN, G.; Klokkehaug, J. A. **Failure Mode and Effects Analysis in Combination with the Problem-Solving A3**. International Conference on Engineering Design, ICED11., Technical University of Denmark, 2011.

MACULAN, A. M. **Ambiente Empreendedor e Aprendizado das Pequenas Empresas de Base Tecnológica**. In: LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; MACIEL, M. L. Pequena empresa: Cooperação e Desenvolvimento Local. Rio de Janeiro: Relume Dumará: UFRJ, 2003. p. 311-327.

McDERMOTT, R. E.; MIKULAK, R. J.; BEAUREGARD, M. R. **The Basics of FMEA**, 2nd Edition. New York: Productivity Press, 2009.

MARCH-CHORDÀ, I.; GUNASEKARAN, A.; LLORIA-ARAMBURO, B. **Product development process in Spanish SMEs: An Empirical Research**. Technovation, v. 22, p. 301-312, 2002.

MIKOS, W. L. **Modelo Baseado em Agentes em Apoio à Solução de Problemas de Não-Conformidades em Ambientes de Manufatura com Recursos Distribuídos**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 2008.

MILAZZO, M. F.; ANCIONE, G.; LISI, R.; VIANELLO, C.; MASCHIO, G. **Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents**. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v.22, n.5, p.625-633. 2009.

MOHR, R. R.: **Failure Modes and Effects Analysis**, 8th Edition. Sverdrup, 1994. Acesso em 26 jan. 2015 <http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/fmeamanual.pdf>.

MORGAN, J. M.; LIKER, J. K. **Sistema Toyota de desenvolvimento de produto**: Integrando Pessoas, Processo e Tecnologia. Tradução Raul Rubenich – Porto Alegre: Bookman, 2008.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia**: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações. 1ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.

PALADY, P. **Análise dos Modos de Falha e Efeitos, Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. Instituto IMAM, São Paulo, 1997.

PENTTI, H.; ATTE, H. **Failure mode and effects analysis of software - based automation systems**. STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki. 2002.

REID, R. Dan; **FMEA - Something Old, Something New**. Quality Progress, p. 90-93, 2005.

RHEE, S. J.; ISHII, K. **Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability**. Advanced Engineering Informatics, v.17, n.3-4, p.179-188, 2003.

ROZENFELD, H.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; CARVALHO, J. **O Processo de Desenvolvimento de Produtos**. Revista Produtos & Serviços, São Paulo. N.312, p. 55-64, dez. (Edição Especial: Fábrica do futuro: entenda hoje como sua indústria vai ser amanhã), 2000.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: uma referência para a melhoria do processo. Editora Saraiva, 2006.

SAAD, N. M.; AL-ASHAAB, A.; MAKSIMOVIC, M.; ZHU, L.; SHEHAB,E.; EWERS P.; KASSAM, A. **A3 Thinking Approach to Support Knowledge-driven Design**. Int J Adv Manuf Technol, 68, p. 1371-1386, 2013.

SAE - Society of Automotive Engineers International. **SAE J1739**: Potential Failure Mode and Effects Analysis. USA, PA, p.60, 2002.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 2001.

SANKAR, N.; PRABHU, B. **Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis.** International Journal of Quality & Reliability Management, v.18, n.3, p.324 - 336, 2001.

SAUVÉ, J.; MOURA, A.; SAMPAIO, M.; JORNADA, J.; RADZIUK, E. **An Introductory Overview and Survey of Business – Driven IT Management,** In Proceedings of the 1st IEEE / IFIP International Workshop On Business - Driven IT Management, in conjunction with NOMS, Vancouver, Canadá, 2006.

SCHMIDT, R.; RIEDEL, G. J.; KANGAS, K. **Risk Assessment Using Design Review Based On Failure Mode,** In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2011. Proceedings. Annual, 2011.

SCOTT, B. S.; WILCOCK, A. E.; KANETKAR, V. **A survey of structured continuous improvement programs in the Canadian food sector.** Food Control, v.20, n.3, p.209-217. 2009.

SEBRAE/ IPT. **MPES de base tecnológica:** Conceituação, Formas de Financiamento e Análise de Casos Brasileiros. Relatório de Pesquisa. São Paulo, jul. 2001.

SHOOK, J. **Toyota's Secret: The A3 Report.** MIT Sloan Management Review. Vol. 50 Nº4. 2009.

SHOOK, J. **Managing to Learn.** Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, Inc, 2010.

SILVA, S. L. **Proposição de um Modelo para Caracterização das Conversões do Conhecimento no Processo de Desenvolvimento de Produto.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 4ª edição, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

SOBEK II, D. K.; WARD, A. C.; LIKER, J. K. **Toyota's principles of set-based concurrent engineering**. Sloan Management Review, v.40, n.02, p.67-83, 1999.

SOBEK II, D. K., JIMMERSON, C. **A3 Reports: tool for process improvement**. In: The 2004 Industrial Engineering Research Conference. Houston, Texas. Proceedings. Disponível em: <http://www.coe.montana.edu/ie/faculty/sobek/IOC_Grant/IERC_2004.pdf>. Acesso em: Mar. 2015.

SOBEK II, D. K.; JIMMERSON, C. **A3 Reports: Tool for organizational Transformation**. Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference, Orlando, FL, 2006.

SOBEK II, D. K.; SMALLEY, A. **The problem-solving A3 report**. In: Understanding A3 thinking: A critical component of Toyota's PDCA management system. Boca Raton: Productivity Press. pp. 50–5, 2008.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. 2nd ed. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2003.

TENG, S., HO, S. **Failure Mode and Effects Analysis: An Integrated Approach for Product Design and Process Control**. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.13 No. 5, pp.8-26, 1996.

TENG, S. G.; HO, S. M.; SHUMAR, D.; LIU, P. C. **Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment**. International Journal of Quality & Reliability Management, v.23, n.2, p.179 - 196, 2006.

TEOH, P.; CASE, K. **An evaluation of failure modes and effects analysis generation method for conceptual design**. International

Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 18, n. 4, p.279 - 293, 2005.

THIOLLENT M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez; 1986.

THIVEL, P.X.; BULTEL, Y.; DELPECH, F. **Risk analysis of a biomass combustion process using MOSAR and FMEA methods**. Journal of Hazardous Materials, v.151, n.1, p.221-231. 2008.

TOLEDO, J. C.; ALLIPRANDINI, D. H.; FERRARI, F. M.; MARTINS, M. F.; MARTINS, R. A.; SILVA, S. L. **Modelo de Referência para a Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto**: Aplicações na Indústria Brasileira de Autopeças. Relatório de Pesquisa, São Carlos: UFSCar/ FAPESP, 2002.

TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; MENDES, G. H. S.; JUGEND, D. **Fatores Críticos de Sucesso no Gerenciamento de Projetos de Desenvolvimento de Produto em Empresas de Base Tecnológica de Pequeno e Médio Porte**. Gest. Prod. , São Carlos, v. 15, n. 1, p. 117-134, jan.-abr. 2008.

TSAROUHAS, P.H.; ARVANITOYANNIS, I.S.; AMPATZIS, Z. D. **A case study of investigating reliability and maintainability in a Greek juice bottling medium size enterprise (MSE)**. Journal of Food Engineering, v.95, n.3, p.479-488. 2009.

VERGANTI, R.; CORMACK, A. M.; IANSTI, M. **Rapid learning and adaptation in product development**: an empirical study of internet software industry. In: BROCKHOFF, K. K.; PEARSON, A. W.; WEERD-NEDEROF, P.C.; DRONGLEN, I. C. K. Reading in technology management: a selection from 10 doctoral Summer Schools. AE Enschede, the Netherlands: Twente University Press, 2001.

VILLARI, B.D.; **Sistematização de Problemas e Propostas de Melhorias na Aplicação do FMEA no Processo de Desenvolvimento de Produtos**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia de Produção da Escola de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2011.

WARD, A.C. **Lean Product and Process Development**. Lean Enterprises Institute Inc., Cambridge, MA, 2007.

YAZDANI, B.; HOLMES, C. **Four Models of Design Definition: Sequential, Design Centered, Concurrent and Dynamic**. Journal of Engineering Design, Vol 10, n.1,1999.

ZHU, L. **Integrating Failure Documentation with A3 Template to Improve Product Design Quality**. MSc by Research Thesis, Cranfield University, 2012.

**APÊNDICE A – MAPEAMENTO DE FALHAS PRÉ –
APLICAÇÃO DO MÉTODO**

Amostra A					
AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO
A	A.010.10.00.22	3	24/09/2013	Detalhamento	Ausência de tolerância
A	A.010.20.00.13	3	25/10/2013	Detalhamento	Ausência de tolerância
A	A.010.10.00.12	2	25/09/2013	Detalhamento	Ausência de tolerância
A	A.010.10.00.14	1	30/09/2013	Modelamento	Ausência de 4 furações M4
A	A.010.20.10.05	4	03/10/2013	Detalhamento	Ausência de tolerância
A	A.010.30.00.12	1	03/10/2013	Detalhamento	Ajuste de medida
A	A.010.50.00.01	1	03/10/2013	Detalhamento	Alteração de furos M10 para M12
A	A.010.10.00.09	1	03/10/2013	Modelamento	Ausência de 6 furações M4
A	A.010.90.10.03	2	04/10/2013	Modelamento	Inclusão do canal para chaveta
A	A.010.30.00.19	1	04/10/2013	Detalhamento	Dimensional alterado de 44mm para 46,4mm
A	A.010.90.00.04	2	04/10/2013	Modelamento	Inclusão de 5 oblongos
A	A.010.20.10.06	1	04/10/2013	Detalhamento	Cota diferente para parafusos
A	A.010.20.10.04	1	04/10/2013	Detalhamento	Cota diferente para parafusos
A	A.010.10.00.06	1	04/10/2013	Detalhamento	Ausência de encaixe para bucha guia
A	A.010.10.00.05	1	04/10/2013	Modelamento	Ausência de 2 furações
A	A.010.30.00.01	1	04/10/2013	Modelamento	Ausência de 4 furações
A	A.010.00.10.03	3	04/10/2013	Modelamento	Posição errada fa furação
A	A.010.10.00.22	3	08/10/2013	Modelamento	Quantidades diferentes
A	A.010.20.00.13	3	08/10/2013	Modelamento	Quantidades diferentes
A	A.010.30.00.08	3	09/10/2013	Detalhamento	Inclusão do rebaixo para a cabeça do parafuso
A	A.010.20.00.08	1	09/10/2013	Modelamento	Faltaram 2 encaixes para passagem do sensor
A	A.010.40.00.06	1	09/10/2013	Detalhamento	Usinagem dos rebaixos superiores
A	A.010.80.00.11	1	10/10/2013	Detalhamento	Ausência de tolerância
A	A.010.90.00.05	2	11/10/2013	Modelamento	Faltaram 5 oblongos
A	A.010.20.10.04	1	11/10/2013	Detalhamento	Realizado alívio para evitar colisão
A	A.010.00.17.09	1	14/10/2013	Detalhamento	Ausência de tolerância
A	A.010.50.00.02	2	14/10/2013	Modelamento	Dimensional alterado de 710 para 755 mm
A	A.010.50.00.14	1	14/10/2013	Conceito	Peça reprojeta
A	A.010.50.00.13	1	17/10/2013	Conceito	Peça reprojeta para possibilitar a montagem
Total	29	49	NA	NA	NA

Amostra B					
AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO
B	B.030.20.00.05	8	15/01/2014	Detalhamento	Diâmetro com tolerância excessiva
B	B.030.20.00.06	4	15/01/2014	Detalhamento	Diâmetro com tolerância excessiva
B	B.040.30.00.11	8	15/01/2014	Detalhamento	Dupla tolerância (exemplo 0 e +15)
B	B.010.10.00.14	1	16/01/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida aberta
B	B.010.10.00.12	1	16/01/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida aberta
B	B.040.40.10.02	4	20/01/2014	Modelamento	Inclusão de anel elástico na bucha
B	B.040.30.00.04	4	20/01/2014	Modelamento	Inclusão de anel elástico na bucha
B	B.010.10.00.04	2	24/01/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida aberta
B	B.010.10.00.01	4	24/01/2014	Detalhamento	Peças com medidas muito apertadas
B	B.040.40.10.02	4	24/01/2014	Modelamento	Inclusão de ponto de lubrificação
B	B.040.40.00.10	1	24/01/2014	Modelamento	Ausência de furação (06 furos) para fixação
B	B.050.30.00.07	1	24/01/2014	Detalhamento	Cota errada
B	B.050.30.00.08	1	27/01/2014	Modelamento	Não foi considerada chave fim de curso, alterar a peça
B	B.020.10.00.01	1	28/01/2014	Modelamento	Inclusão de oblongo para ajuste da peça
B	B.030.10.00.02	3	29/01/2014	Detalhamento	Remover rosca para furo passante
B	B.030.10.00.04	2	29/01/2014	Detalhamento	Remover rosca para furo passante
B	B.030.20.00.33	5	29/01/2014	Modelamento	Confecção da proteção do rolamento
B	B.050.30.00.17	1	29/01/2014	Modelamento	Peça nova - para apoiar os cilindros.
B	B.020.30.00.07	2	29/01/2014	Modelamento	Peça nova - Não constava na BOM
B	B.050.30.00.18	1	29/01/2014	Modelamento	Peça nova - para apoiar os cilindros.
B	B.020.40.00.27	1	29/01/2014	Conceito	Novo conceito no sistema de amortecimento
B	B.030.20.00.34	4	29/01/2014	Modelamento	Peça nova para corrigir erro de modelamento
B	B.030.20.00.23	4	06/02/2014	Detalhamento	Diâmetro de furação dimensionados incorretamente
B	B.040.40.10.01	2	06/02/2014	Modelamento	Peça inicial não garante robustez do componente
B	B.040.40.10.14	1	06/02/2014	Modelamento	Peça inicial não garante robustez do componente
B	B.040.30.00.07	2	06/02/2014	Modelamento	Peça inicial não garante robustez do componente
B	B.040.30.00.05	1	06/02/2014	Modelamento	Peça inicial não garante robustez do componente
B	B.050.10.00.27	1	06/02/2014	Detalhamento	Necessário fazer oblongo na furação
B	B.050.10.00.29	1	06/02/2014	Detalhamento	Cota errada
B	B.050.10.00.29	1	06/02/2014	Detalhamento	Peça não poderia ser pintada e sim oxidada
B	B.030.10.00.34	2	06/02/2014	Modelamento	Acrescentar furação
B	B.030.10.00.02	3	07/02/2014	Detalhamento	Cotas incorretas da furação dos pés niveladores
B	B.040.30.00.19	1	07/02/2014	Modelamento	Ausência de rebaixo na furação da placa
B	B.040.30.00.08	1	07/02/2014	Detalhamento	Espessura da flange provoca colisão da peça no sistema
B	B.040.40.10.02	4	07/02/2014	Detalhamento	Espessura da flange provoca colisão da peça no sistema
B	B.040.40.00.05	1	12/02/2014	Modelamento	Ausência de rasgo para acesso na regulagem do parafuso
B	B.040.40.00.10	1	12/02/2014	Modelamento	Refazer furação para fixação da regulagem
B	B.030.10.00.34	2	12/02/2014	Detalhamento	Peça em tamanho maior ocasionando colisão
B	B.040.20.00.01	1	14/02/2014	Detalhamento	Retrabalhada a altura da peça
B	B.030.20.00.35	5	14/02/2014	Modelamento	Peças não constavam na BOM
B	B.040.20.00.06	1	14/02/2014	Modelamento	Acrescentar furação
B	B.040.10.00.01	1	14/02/2014	Modelamento	Necessário fazer rasgo na chapa base p/ alívio de redutor
B	B.010.30.10.02	1	14/02/2014	Modelamento	Faltaram duas furações
B	B.040.40.10.08	1	20/02/2014	Detalhamento	Furação diferente entre suporte e ponto de fixação da peça
B	B.040.40.10.10	2	20/02/2014	Detalhamento	Peças fora do dimensional para fixação de fim de curso.
B	B.040.60.00.12	2	21/02/2014	Detalhamento	Necessário fazer oblongo para permitir a fixação da porca
B	B.050.10.00.03	1	21/02/2014	Detalhamento	Furo de fixação não confere com o da flange (deveria ser rosca M5 e foi feita rosca M4)
B	B.030.10.00.00	1	21/02/2014	Detalhamento	Colisão da esteira porta cabo com os parafusos do transfer
B	B.040.40.10.04	1	26/02/2014	Detalhamento	Dupla tolerância (exemplo 0 e +15)
B	B.040.30.00.06	1	26/02/2014	Detalhamento	Medida entre o centro da flange e o pino indexador 1,5mm menor
B	B.040.30.00.06	1	26/02/2014	Detalhamento	Ausência de tolerância para a cota considerada
B	B.040.40.00.14	1	26/02/2014	Detalhamento	Ausência de tolerância para a cota considerada
B	B.040.40.00.23	1	26/02/2014	Detalhamento	Ausência de tolerância para a cota considerada
B	B.050.10.00.19	1	26/02/2014	Detalhamento	Necessário aumentar tolerância.
B	B.030.10.00.19	3	05/03/2014	Detalhamento	Transfer - compensar altura devido a chave de fim de curso
B	B.040.40.10.10	2	05/03/2014	Modelamento	Suporte Fim de curso - não foi considerada a chave fim de curso no modelamento, necessário alterar a peça
B	B.020.20.00.05	2	05/03/2014	Modelamento	Não foi considerada chave fim de curso, necessário alterar a peça
B	B.020.30.00.04	1	05/03/2014	Modelamento	Batente - não considerada a chave fim de curso, necessário alterar a peça
B	B.050.10.00.08	2	12/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida aberta
B	B.000.00.00.00	2	12/03/2014	Modelamento	Ausência de suporte para fixação dos sensores

Continuação Amostra B

B	B.040.40.10.10	2	19/03/2014	Modelamento	Dimensões do suporte não comporta o modelo da chave
B	B.020.20.00.08	1	23/03/2014	Conceito	Peça nova - Conceito mecânico da peça não atendia a fixação do batente
B	B.020.20.00.09	1	23/03/2014	Conceito	Peça nova - Conceito mecânico da peça não atendia a fixação do batente
B	B.060.10.00.04	1	23/03/2014	Detalhamento	Detalhamento das funções da base para nivelamento ausente (também é preciso considerar rosca M20)
B	B.080.20.00.01	2	31/03/2014	Detalhamento	Cota de altura da tela ausente no desenho sendo necessário cortar , furar e remontar a tela)
B	B.030.10.00.26	1	03/04/2014	Detalhamento	Posição da placa de apoio deslocada
B	B.010.20.00.05	1	04/04/2014	Conceito	Peça nova devido a mudança do motor
B	B.060.30.00.02	1	04/04/2014	Conceito	Peça nova para adaptar o eixo no motor
B	B.040.30.00.27	2	17/04/2014	Conceito	Peça nova para limitar o curso superior da castanha do fuso
B	B.080.50.00.01	4	17/04/2014	Conceito	Painel seria fixado no fechamento, porém como ficou pesado foi necessário pedestal de sustentação
B	B.040.20.00.07	3	17/04/2014	Modelamento	Peça nova - Melhoria no conceito do monitoramento do prato
B	B.040.20.00.04	1	17/04/2014	Modelamento	Peça nova - Melhoria no conceito do monitoramento do prato
B	B.040.30.00.26	2	17/04/2014	Modelamento	Peça nova - Para complementar o suporte do sensor
B	B.040.40.10.21	4	23/04/2014	Modelamento	Peça nova - Para limitar o curso inferior da castanha do fuso
B	B.020.30.00.01	1	28/04/2014	Modelamento	Inclusão de estrutura para receber o suporte dos amortecedores.
B	B.040.40.10.03	1	28/04/2014	Modelamento	Peça nova - Para possibilitar o ajuste da chave fim de curso
B	B.040.40.10.05	1	28/04/2014	Modelamento	Peça nova - Para possibilitar o ajuste da chave fim de curso
B	B.071.01.00.01	1	05/05/2014	Modelamento	Necessário alongar o comprimento do eixo
B	B.071.02.00.01	2	05/05/2014	Modelamento	Necessário alongar o comprimento do eixo
B	B.071.01.00.08	4	28/05/2014	Modelamento	Peça inicial não atende - Necessário fazer uma peça maior
B	B.071.01.00.08	4	10/06/2014	Detalhamento	Rasgo da chaveta não conforme o alojamento do eixo
B	B.071.10.00.01	1	12/06/2014	Detalhamento	Aproximar o rasgo da abertura (cota de 80, deve ser de 65)
B	B.030.20.00.37	5	26/06/2014	Modelamento	Peça nova - Pino para eliminar folga entre as engrenagens
B	B.030.20.00.38	5	26/06/2014	Modelamento	Peça nova - Suporte de fixação do pino
B	B.071.01.00.01	1	02/07/2014	Conceito	Refeito devido a alteração do motoreductor
B	B.071.04.00.41	1	02/07/2014	Conceito	Reposicionamento da furação devido a alteração do motoreductor
B	B.060.20.00.17	1	02/07/2014	Modelamento	Suporte para o mecanismo de proteção da esteira
B	B.060.20.00.16	1	02/07/2014	Modelamento	Peça Nova - Corpo do pino de segurança
B	B.060.20.00.15	1	02/07/2014	Modelamento	Peça Nova - Bloco de apoio do braço de reação
B	B.040.40.00.24	3	02/07/2014	Detalhamento	Ajuste do diâmetro para aumentar a folga
B	B.040.40.00.24	3	02/07/2014	Detalhamento	Rebaixo da cabeça do parafuso para inserir a porca de ajuste de altura
Total	80	187	NA	NA	NA

Amostra C					
AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO
C	C. Acoplamento	1	29/01/2014	Detalhamento	Erro no dimensionamento do acoplamento (M10 e deve ser M8)
C	C.010.30.05.08	1	29/01/2014	Detalhamento	Faltaram cotas específicas no desenho
C	C.010.30.05.01	1	29/01/2014	Modelamento	Reposicionamento de furação
C	C.010.30.10.01	1	29/01/2014	Detalhamento	A alteração do diâmetro de encaixe da haste no conjunto
C	C.010.30.10.01	1	29/01/2014	Conceito	Acréscimo de 1 graxeira - sem ponto de lubrificação
C	C.010.30.10.10	2	29/01/2014	Conceito	Acréscimo de 1 graxeira - sem ponto de lubrificação
C	C.010.30.10.10	2	29/01/2014	Detalhamento	A alteração do diâmetro de encaixe da haste no conjunto
C	C.010.30.00.05	1	29/01/2014	Detalhamento	Ausência de cota no diâmetro de encaixe do cilindro
C	C.050.40.25.04	2	30/01/2014	Modelamento	Faltou furação para fixação do cilindro (04 furos/peça)
C	C.010.30.10.00	1	30/01/2014	Modelamento	Não foi especificado cilindro no projeto mecânico
C	C.050.10.10.01	1	04/02/2014	Modelamento	Ausência de furação para fixação do conjunto (20 furos)
C	C.050.30.00.03	2	07/02/2014	Modelamento	Faltou furação
C	C.050.30.00.05	1	07/02/2014	Detalhamento	Diâmetro de furação incorreto
C	C.050.20.00.06	1	07/02/2014	Detalhamento	Diâmetro de furação incorreto
C	C.010.10.20.11	1	07/02/2014	Modelamento	Não considerado o número correto de furos - necessário adicionar
C	C.010.10.20.34	1	07/02/2014	Modelamento	Adição de furação
C	C.050.20.00.04	1	07/02/2014	Modelamento	Peça alterada por projeto e não repassada para fabricação.
C	C.050.10.20.01	2	14/02/2014	Modelamento	Adição de duas furações
C	C.010.10.10.14	1	14/02/2014	Detalhamento	Oblongo com furação menor
C	C.050.10.30.01	2	14/02/2014	Modelamento	A alteração de projeto para incluir furação
C	C.050.10.20.06	2	14/02/2014	Modelamento	A alteração de projeto para incluir furação
C	C.010.10.30.07	1	17/02/2014	Detalhamento	Alterada a rosca da furação
C	C.010.10.10.04	2	18/02/2014	Detalhamento	A alteração da peça para ajuste dimensional
C	C.010.10.11.01	2	18/02/2014	Detalhamento	A alteração da peça para ajuste dimensional e tratamento térmico
C	C.010.40.10.06	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.10.03	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.10.01	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.16.03	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.16.04	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.18.03	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.15.03	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.18.04	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.17.04	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.17.04	4	03/03/2014	Detalhamento	Furação para o suporte do sensor em peça não permite fixação.
C	C.010.40.17.03	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.15.04	4	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.010.40.00.02	4	03/03/2014	Detalhamento	Rebaixo da furação menor que a cabeça do parafuso especificado
C	C.010.40.10.07	8	03/03/2014	Modelamento	Ausência de abertura na peça para indexação do cilindro
C	C.010.40.10.07	8	03/03/2014	Detalhamento	Tolerância - Medida Aberta
C	C.050.50.20.03	2	03/03/2014	Detalhamento	Dimensionamento da furação menor que o necessário
C	C.050.50.20.05	1	03/03/2014	Modelamento	Necessário fazer rebaixo para encaixe do parafuso M8
C	C.010.40.10.04	4	03/03/2014	Modelamento	Ausência de furação para fixar a peça
C	C.010.40.10.04	4	03/03/2014	Detalhamento	Dimensionamento do parafuso incorreto em relação a espessura da chapa sendo necessário retrabalhar a cabeça do parafuso
C	C.050.50.10.16	1	05/03/2014	Detalhamento	Furação na peça para M3 e deveria ser para M4.
C	C.010.40.17.01	4	05/03/2014	Detalhamento	Furação M8 mas devia ser M12 - necessário retrabalhar a furação
C	C.010.40.18.01	4	05/03/2014	Detalhamento	Furação M8 mas devia ser M12 - necessário retrabalhar a furação
C	C.010.40.16.01	4	05/03/2014	Detalhamento	Furação M8 mas devia ser M12 - necessário retrabalhar a furação
C	C.010.40.15.01	4	05/03/2014	Detalhamento	Furação M8 mas devia ser M12 - necessário retrabalhar a furação
C	C.050.50.10.15	1	05/03/2014	Modelamento	Faltou furação para suporte do sensor e espelho
C	C.010.40.10.08	4	05/03/2014	Detalhamento	Necessário remover 2mm da peça - colisão na montagem.
C	C.010.40.10.03	4	05/03/2014	Detalhamento	A alteração da rosca para encaixe do sensor
C	C.010.40.10.01	4	05/03/2014	Detalhamento	A alteração da rosca para encaixe do sensor
Total	46	142	NA	NA	NA

**APÊNDICE B – APLICAÇÃO DO MÉTODO RELATÓRIO A3
PARA MAPEAMENTO DE FALHAS – FASE DE PROJETO**

Amostra D

Relatório A3 para Análise de Falhas

Página 1/3

PROJETO

Amostra D

FASE

Projeto

DESCRIÇÃO

Célula Robotizada para Rebarbação

Nome

Área

Nome

Área

Projeto Mecânico - Líder

Projeto Mecânico - Projetista

Programação

Projeto Elétrico

Programação

Montagem Mecânica

Montagem Elétrica

Montagem Elétrica

Coordenação

Fabricação

Data Revisão I

10/06/2014

Data Revisão II

13/06/2014

Responsável

XXXX - Coordenador

Responsável

XXX - Líder Projeto Mecânico

ITEM

Item Analisado

Descrição da Falha

Causa Raiz
(Por que?)

Contramedida
(Ações)

Resultado Esperado

Responsável/Área

Prazo

Status
(ok / nok)

1. Dimensionamento de Componentes

2. Modificações

3. Requisitos de Segurança

4. Ergonomia

5. Integração

1.

Bancada de Inspeção Visual

Rosca do ponto de fixação dos pés espanso ao torque do parafuso.

Espessura da chapa é muito fina para identificar presença de peça

Soldar chapa de aço para reforço da estrutura no ponto de fixação

Aumentar a robustez da estrutura

XXXX
Projetista Mecânico

12/06/14

ok

X

2.

Esteiras de Entrada e Saída

Pega não é indexada

Ausência de mecanismo para identificar presença de peça

Adicionar sensor no ponto de indexação

Identificar a presença de peça para o indexador

XXXX
Projetista Mecânico

12/06/14

ok

X

3.

Esteiras de Entrada e Saída

Viga União poder ser fixada

Furação do ponto de fixação dentro da área do raio

Redimensionar a furação para pontos para fora da área do raio

Permitir montagem

XXXX
Projetista Mecânico

12/06/14

ok

X

4.

Esteiras de Entrada e Saída

Não permite fixação

Peça desalinhada

Fazer placas de nivelamento

Garantir fixação correta

XXXX

12/06/14

ok

X

5.

Esteira de Entrada B 2 | Posição indexação B 2 | Posição bloqueio

Robô não acessa

Restrição de espaço

Deslocar boqueador na direção para cima

Funcionamento do sistema

XXXX
Projetista Mecânico

12/06/14

ok

X

Nº Item:

Não Aplicável

OBSERVAÇÕES

Nº Item:

Relatório A3 para Análise de Falhas

PROJETO

Amostra D

FASE

Projeto

DESCRIÇÃO

Célula Robotizada para Rebarbação

PRESENTES		
Nome	Área	Nome
	Projeto Mecânico - Líder	Montagem Mecânica
	Projeto Mecânico - Projetista	Montagem Elétrica
	Programação	Montagem Elétrica
		Coordenação
	Projeto Elétrico	Fabricação

Responsável	XXX - Coordenador
Data Revisão I	10/06/2014
Responsável	XXX - Líder Projeto Mecânico
Data Revisão II	13/06/2014

ITEM	Item Analisado	Descrição da Falha	Causa Raiz <i>(por que?)</i>	Contramedida <i>(ações)</i>	Resultado Esperado	Responsável/Área	Prazo	Status <i>(ok / nok)</i>	Grupos				
									1. Dimensionamento de Componentes	2. Modificações	3. Requisitos de Segurança	4. Economia	5. Integração
6.	Robôs - Garra	Pega pode não ser pega ou cair	Garra não fecha o suficiente para movimentar bloco	Sensor de presença de peça na garra	Garantir a indexação do bloco na garra	XXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok	X	X			X
7.	Robô - Placa Pneumática	Colisão entre a placa pneumática fixada no braço e o corpo do robô	Limitação do movimento do braço	Posicionar placa pneumática na parte externa do braço robô	Liberdade de movimento do braço do robô sem colisão	XXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok		X			
8.	Robôs - Chapa da Base	Espanamento da rosca durante a fixação/dubimentação	Espessura da chapa é muito fina	Alterar espessura da chapa base para 37 mm	Robustez e segurança do sistema	XXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok		X			
9.	Robôs - Chapa da Base	Acidentes na movimentação / posicionamento	Ausência de pontos para ligamento	Considera 02 olhais M16	Segurança na movimentação	XXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok		X	X		
10.	Robôs - Garra	Colisão do robô no bloco	Não realizado o set up de garra para variação de modelo de bloco	Adicionar dois sensores inductivos para garantir que a peça foi lizada	Prevenir acidentes	XXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok	X	X			X

OBSERVAÇÕES	
Nº Item:	
Não Aplicável	Nº Item:

Relatório A3 para Análise de Falhas

PROJETO

Amostra D

FASE

Projeto

DESCRIÇÃO

Célula Robotizada para Rebarbação

PRESENTES			
Nome	Área	Nome	Área
	Projeto Mecânico - Líder		Montagem Mecânica
	Projeto Mecânico - Projetista		Montagem Elétrica
	Programação		Montagem Elétrica
	Projeto Elétrico		Coordenação
	Programação		Fabricação

Data Revisão I	Responsável
10/06/2014	XXXX - Coordenador

Data Revisão II	Responsável
13/06/2014	XXX - Líder Projeto Mecânico

Grupos

ITEM	Item Analisado	Descrição da Falha	Causa Raiz (Por que?)	Contramedida (Ações)	Resultado Esperado	Responsável/Área	Prazo	Status (ok / nok)	1. Dimensionamento de Componentes	2. Modificações	3. Requisitos de Segurança	4. Ergonomia	5. Integração
11.	Mesa de Transição	Oxidação	Pintura danificada com o tempo e uso	Zincar chapa base	Maior resistência contra a oxidação	XXXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok	X	X		X	X
12.	Esteira de Sólida	Colisão entre os blocos	Não há mecanismo para identificar a presença de peça	Adicionar sensor de acúmulo	Espaço disponível para depositar o bloco seguinte	XXXX Projetista Mecânico	12/06/14	ok	X	X		X	X
13.	Esteira de Sólida	Desgaste da borracha dos roletes	Desconhecida a resistência ao atrito	Estudar informações técnicas junto com a área de compras	Durabilidade e robustez	XXXX e YYYY Projetista Mecânico e Computador	13/06/14	ok	X				

OBSERVAÇÕES	
Nº Item:	
Não Aplicável	

Relatório A3 para Análise de Falhas

PROJETO

Amostra E

FASE

Projeto

DESCRIÇÃO

Máquina de Polimento para Terminais de Bateria

Nome	Área	Nome	Área	Data Revisão I	Responsável
	Projeto Mecânico		Coordenação	29/07/2014	XXXX - Coordenador
	Projeto Elétrico				
	Programação			Data Revisão II	Responsável
	Montador Mecânico			01/08/2014	XXX - Líder Projeto Mecânico
	Montador Elétrico				

ITEM	PRESENTES				Causa Raiz (Por que?)	Contamedida (ações)	Resultado Esperado	Responsável/Área	Prazo	Status (ok / nok)	Grupos				
	Descrição da falha										1. Dimensionamento de Componentes	2. Modificações Mecânicas	3. Requisitos de Segurança	4. Ergonomia	5. Integração
1.	Entrada da Esteira	Sobreposição de peças no ponto de alimentação			Não há mecanismo de comunicação entre a polidora e a torja	Sensor de presença/ausência de produto no ponto de alimentação	Garantir a estabilidade do processo durante a transferência	XXXX Projetaista Mecânico	31/07/14	ok	X	X			X
2.	Transferidor	Falta de monitoramento			Dano ao sensor decorrente de impacto com o produto	Substituir sensor indutivo por sensor sensor ótico para presença de pep	Robustez na aplicação do sensor	XXXX Projetaista Mecânico	31/07/14	ok	X	X			X
3.	Medição	Feixe do laser não alinhado com o vale			Dano ao sensor decorrente de impacto com o produto	Considerar suporte ajustável	Permitir ajustes de posição	XXXX Projetaista Mecânico	31/07/14	ok		X			X
4.	Porta	Dano ao ferramenta e ao produto			Interrupção da operação durante o ciclo	Boto de solicitação para abertura da porta	Finalizar o ciclo da usinagem	XXXX Projetaista Mecânico	31/07/14	ok	X	X			X

OBSERVAÇÕES		
Nº Item:		
Não Aplicável	Nº Item:	

Amostra F

Projeto

Amostra F

Relatório A3 para Análise de Falhas

Projeto

FASE

Projeto

DESCRIÇÃO

Sistema de Visão para Leitura de Data Matrix e Batch

Nome

Área

Nome

Área

Projeto Mecânico

Projeto Elétrico

Programação

Montagem Elétrica

Montagem Mecânica

Coordenação

Data Revisão I

05/11/2014

Responsável

XXXX - Coordenador

Data Revisão II

07/11/2014

Responsável

XXX - Líder Projeto Mecânico

Item

Item Analisado

Descrição da Falha

Causa Raiz (Por que?)

Contramedida (Ações)

Resultado Esperado

Responsável/Área

Prazo

Status (ok / nok)

1. Dimensãoamento de Componentes

2. Modificações Mecânicas

3. Requisitos de Sequência

4. Ergonomia

5. Integração

1.

Alimentação Pneumática

Pressão insuficiente para o rejeito do produto

Extrair regulamento da mangueira no Conector Harting

A alimentação pneumática deverá estar externa ao conector Harting

Esta bilidade da pressão

XXXX
Projeta Mecânico

06/11/14

ok

X

X

2.

Sistema de Visão - máquina do cliente

Câmera não inspeciona o produto

Ausência de sinal de presença do produto

Adicionar sensor para presença do Puck

Assegurar a inspeção dos produtos

XXXX
Projeta Mecânico

06/11/14

ok

X

X

X

3.

Suporte do sensor

Transmite vibração ao sensor

Espessura fina da chapa

Aumentar a espessura da do suporte

Mais robustez

XXXX
Projeta Mecânico

06/11/14

ok

X

4.

Suporte da Câmera e módulo de iluminação (Single Unit e máquina do Cliente)

Não permite ajuste da câmera em profundidade

Desprovido regulagem para ajuste

Propor suporte contemplando sistema de ajuste (montante com ajuste de ângulo, na vertical e horizontal)

Foco no ponto de inspeção

XXXX
Projeta Mecânico

06/11/14

ok

X

X

X

5.

Suporte do teclado e mouse

Teclado tradicional mais mouse não cabem

Espaco para fixação do suporte é reduzido

Utilizar mini teclado e mouse sem fio

Acondicionamento do perfilco na área projetada e conforto do operador

XXXX
Projeta Mecânico

06/11/14

ok

X

X

X

6.

Haste de fixação do sistema de visão

Não leitura do produto

Vibração

Aumentar o diâmetro da haste

Mais robustez

XXXX
Projeta Mecânico

06/11/14

ok

X

X

Nº Item:

Não Aplicável

OBSERVAÇÕES

Nº Item:

APÊNDICE C – MAPEAMENTO DE FALHAS PÓS – APLICAÇÃO DO MÉTODO

Amostra D					
AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO
D	D.050.00.00.01	1	17/07/2014	Modelamento	Ausência de furação
D	D.020.10.00.01	4	22/07/2014	Detalhamento	Furação não coincide com o ponto de fixação
D	D.020.20.40.01	1	22/07/2014	Detalhamento	Interferência com a peça de interface
D	D.050.00.00.02	1	28/07/2014	Modelamento	Não foi projetada chapa para fixação das luminárias
D	D.020.10.50.01	1	28/07/2014	Detalhamento	Interferência com a peça de interface
D	D.020.10.40.04	1	28/07/2014	Detalhamento	Ausência de tolerância
D	D.020.10.30.01	2	30/07/2014	Detalhamento	Interferência com a peça de interface
D	D.020.10.70.03	1	30/07/2014	Detalhamento	Fazer oblongo para encaixe na furação de interface
D	D.010.10.20.03	1	31/07/2014	Detalhamento	Cota incompatível
D	D.030.10.00.01	1	31/07/2014	Modelamento	Ausência de furação
D	D.020.10.60.06	1	01/08/2014	Detalhamento	Alteração de rosca
D	D.030.10.00.04	2	01/08/2014	Detalhamento	Tolerância aberta
D	D.030.10.00.01	1	04/08/2014	Detalhamento	Dimensional do rasgo para chaveia não permite montagem
D	D.020.10.30.02	1	04/08/2014	Detalhamento	Ausência de Rosca
D	D.060.00.00.04	1	05/08/2014	Detalhamento	Cota da furação incompatível com a peça de interface
D	D.020.10.20.01	2	05/08/2014	Detalhamento	Espessura do material não oferece robustez
D	D.020.10.80.01	2	05/08/2014	Detalhamento	Espessura do material não oferece robustez
D	D.020.20.10.01	2	05/08/2014	Detalhamento	Espessura do material não oferece robustez
D	D.030.10.00.07	2	06/08/2014	Modelamento	Ausência de furação
D	D.030.10.00.08	4	06/08/2014	Detalhamento	Tolerância aberta
D	D.030.10.00.02	1	06/08/2014	Detalhamento	Interferência com a estrutura
D	D.030.10.00.03	1	06/08/2014	Detalhamento	Interferência com a estrutura
D	D.070.00.00.06	2	08/08/2014	Detalhamento	Adicionado batente para maior robustez
Total	22	36	NA	NA	NA

Amostra E					
AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO
E	E.010.30.00.04	1	07/11/2014	Detalhamento	Interferência - tolerância
E	E.020.30.00.04	1	07/11/2014	Detalhamento	Interferência - tolerância
E	E.010.60.00.05	2	12/11/2014	Modelamento	Adição de duas furações roscadas M5
E	E.020.30.00.04	1	18/11/2014	Detalhamento	Deslocar furação para encaixe do pino
E	E.010.30.00.04	1	18/11/2014	Detalhamento	Deslocar furação para encaixe do pino
E	E.010.10.00.16	2	19/11/2014	Detalhamento	Necessário fazer alívio para permitir montagem
E	E.010.10.00.11	2	19/11/2014	Detalhamento	Interferência - Aumentar rebaixo
E	E.010.10.00.07	2	28/11/2014	Detalhamento	Interferência - O comprimento final para deve ter 148mm
E	E.010.20.00.09	1	01/12/2014	Detalhamento	Ateração dos dimensionais para permitir montagem
E	E.020.20.00.01	1	01/12/2014	Detalhamento	Ateração dos dimensionais para permitir montagem
E	E.010.40.00.13	2	01/12/2014	Detalhamento	Interferência - Redução do diâmetro externo
E	E.020.40.00.06	2	01/12/2014	Detalhamento	Peça nova - Cota errada
E	E.010.50.00.05	2	10/12/2014	Modelamento	Peça Nova - Painel elétrico possui dimensões diferentes, maiores que a placa base considerada no projeto
E	E.010.60.00.12	2	10/12/2014	Modelamento	Adição de 4 furações M3
E	E.010.10.00.05	2	11/12/2014	Modelamento	Retrabalho - Adição de dois furos para permitir montagem com a peça de interface
E	E.010.60.00.04	2	11/12/2014	Detalhamento	Alteração de Cota
E	E.010.60.00.13	2	12/12/2014	Detalhamento	Interferência - Tolerância
E	E.010.80.00.18	2	12/12/2014	Modelamento	Peça Nova - Não foi considerado suporte para botoeira
E	E.010.70.00.03	2	12/12/2014	Modelamento	Peça nova - Dimensional da placa não comportava a unidade de ar.
E	E.010.70.00.01	2	12/12/2014	Modelamento	Placa mal dimensionada, não comportava todas as válvulas e a unidade de ar
E	E.010.80.00.19	4	15/12/2014	Detalhamento	Peça Nova - Para vedar saída do cavaco decorrente da alteração da espessura do perfil
E	E.010.80.00.20	2	15/12/2014	Detalhamento	Peça Nova - Para vedar saída do cavaco decorrente da alteração da espessura do perfil
E	E.010.00.00.01	2	22/12/2014	Conceito	Peça Nova - Não há ponto para fixação do soprador de ar para o cavaco
Total	21	42	NA	NA	NA

Amostra F					
AMOSTRA	DESENHO	PEÇAS	DATA	FASE	DESCRIÇÃO
F	F.010.10.00.01	2	10/12/2014	Detalhamento	Ausência de tolerância
F	F.030.10.00.09	4	15/12/2014	Modelamento	Faltou furação
F	F.030.10.00.08	2	15/12/2014	Detalhamento	Necessário aumentar a tolerância
F	F.040.50.00.01	1	15/12/2014	Detalhamento	Ausência de rosca na furação
F	F.040.50.10.03	1	15/12/2014	Detalhamento	Aumentar oblongo para permitir ajuste
F	F.020.15.10.05	2	16/12/2014	Detalhamento	Necessário aumentar a tolerância
F	F.010.10.00.08	2	17/12/2014	Modelamento	Faltou rosca na furação
F	F.020.15.10.06	2	19/12/2014	Detalhamento	Cota da furação errada
Total	7	16	NA	NA	NA